

计算机网络作业答案 (2020)

刘威

华中科技大学电子信息与通信学院

Email: liuwei@hust.edu.cn

2020.10

目录

1 第一章 网络基础	2
1.1 交换基本原理	2
1.1.1 [1] 1-23	2
1.1.2 [2] 1-9	6
1.1.3 [1] 1-3	9
1.1.4 [1] 1-20	13
1.2 网络体系架构	15
1.2.1 体系架构比较	15
1.3 网络性能评估	17
1.3.1 [1] 1-13	17

Chapter 1

第一章 网络基础

1.1 交换基本原理

1.1.1 [1] 1-23

〔题目〕

假设你想要在一条由信源、信宿、6 条¹ 点对点链路和 5 个交换机组成的网路上传输 n 字节的文件。假设每条链路传播延迟为 2ms，带宽为 4Mbps，而且交换机支持电路交换和分组交换。你可以把文件分割成 1KB 的分组或在交换机之间建立起一个电路并把文件作为一个连续的比特流发送。假设每个分组有 24 字节的分组首部信息和 1000 字节的有效载荷，而且每个交换机在完全收到一个分组后对分组进行存储转发的过程会引起 1ms 的延迟，分组可以被链路发送而不需要等待确认。建立电路需要发送 1KB 的消息。在路径上往返一次在每个交换机产生 1ms 的延迟。假设交换机不会给通过电路的数据带来延迟。也可以假设文件大小是 1000 字节的整数倍。

(a) 文件大小为多少个字节时，电路交换在网络上发送的总字节数少于分组交换。

(b) 文件大小为多少个字节时，电路交换使整个文件到达目的地时产生的总延迟小于分组交换。

(c) 以上结果是如何与路径上的交换机的数目相关的？如何与链路的带宽相关的？又是如何与分组首部大小和分组大小之比相关的？

(d) 本题给出的网络模型能否准确反映电路交换和分组交换的优缺点？是否忽略了使这两种交换方式受到质疑的重要因素？如果有，这些因素是什么？

¹ 原题为 7 条链路有误，应为 6 条

〔解答〕

该试题的网络拓扑示意图如图1.1所示：

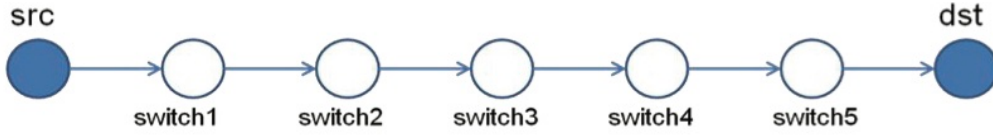


图 1.1: 拓扑示意图

(a) 关于电路交换与分组交换的传输效率

在电路交换 (Circuit Switching, CS) 中，数据量 (Traffic, F_{CS}) 包括双向信令开销 (Signaling, F_{sig}) 和传送的数据 (Data, F_{data})，即：

$$F_{CS} = F_{sig} + F_{data} = (1K + 1K) + n(byte) = 2048 + n(byte)$$

在分组交换 (Packet Switching, PS) 中，数据量 (Traffic, F_{PS}) 包括发送分组头部的开销 (Header, F_{head}) 和传送的数据 (Data, F_{data})，前者等于分组的头部的大小 (HeaderSize, h) 乘以分组的数量 (Number of Packet, N_{pkt})，即：

$$F_{PS} = F_{head} + F_{data} = 24 * \lfloor \frac{n}{1000} \rfloor + n(byte) = 1.024n(byte)$$

如果希望电路交换发送的总字节数少于分组交换，则需要满足：

$$F_{PS} \geq F_{CS}, \text{ 即 } 1.024n \geq 2048 + n$$

求解结果为 $n \geq 85333$ 。又由于文件大小是 1000 字节的整数倍，所以：

$$n \geq 86000(byte).$$

(b) 关于电路交换 (CS) 与分组交换 (PS) 的时延性能。

首先考虑分组交换，列出分组交换的时序示意图如图1.2所示：

如图1.2所示，观测数据传送起点的时延情况，分组交换 (PS) 的总时延 (Delay, D) 可以简化为在交换机上 (Switch, T_{SW}) 的处理时延和最后一跳 (LastHop, T_{LH}) 的时延之和，设交换机数量为 k 个，即有：

$$D_{PS} = T_{SW} * k + T_{LH}$$

在每个交换机上的处理时延 (T_{SW}) 包括在这一跳处理一个数据包所需要的传播时延 (Propagation Delay, T_p)、传输时延 (Transmission Delay, T_{pkt}) 和处理时延 (Switch Processing Delay, T_s)，即：

$$T_{SW} = T_p + T_{pkt} + T_s$$

在最后一跳的时延包括传输一个数据包所需要的传播时延 (T_p) 和传输所有 N_{pkt} 个数据包所需要的传输时延 (T_{total})，即：

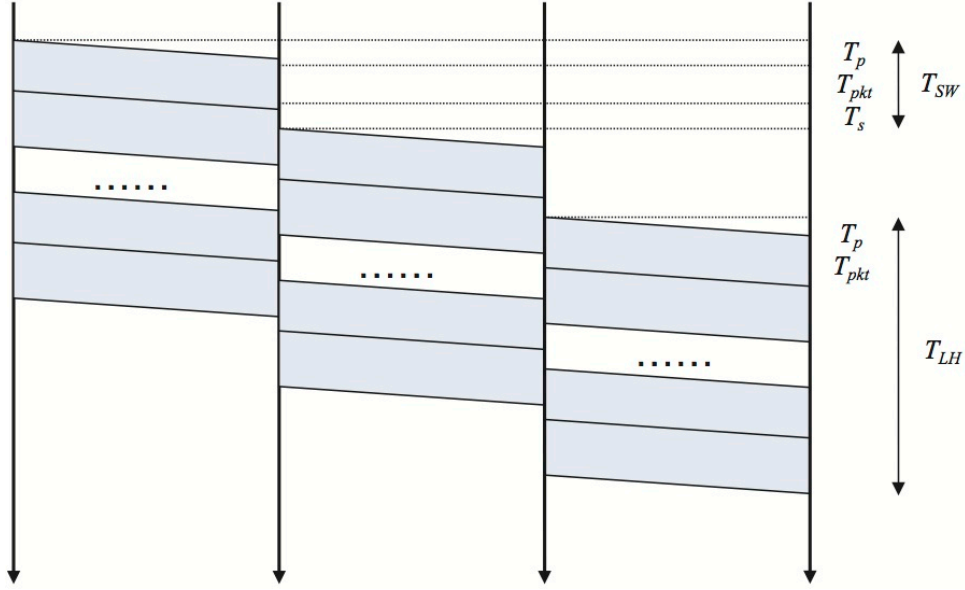


图 1.2: 分组交换的时序示意图

$$T_{LH} = T_p + T_{total} = T_p + T_{pkt} * N_{pkt}$$

于是，分组交换的总时延为：

$$\begin{aligned} D_{PS} &= T_{SW} * k + T_{LH} = (T_p + T_{pkt} + T_s) * k + (T_p + T_{pkt} * N_{pkt}) \\ &= T_p * (k + 1) + T_{pkt} * (k + N_{pkt}) + T_s * k \end{aligned}$$

其中，已知 $T_p = 2(ms)$, $T_s = 1(ms)$, $k = 5$, 设目标文件大小为 n 字节, $N_{pkt} = \frac{n}{1000}$, 又有

$$T_{pkt} = \frac{S}{BW} = \frac{1KB}{4Mbps} = \frac{1024*8}{4*10^6} = 2.048(ms)$$

因此：

$$\begin{aligned} D_{PS} &= 2 * 10^{-3} * (5 + 1) + 2.048 * 10^{-3} * (5 + 0.001 * n) + 1 * 10^{-3} * 5 \\ &= 27.24 * 10^{-3} + 2.048 * 10^{-6} * n(s) \end{aligned}$$

其次，我们考虑的电路交换的时序图如图1.3 所示：

如图1.3所示，电路交换 (CS) 的总时延 (D_{CS}) 包括两个部分，即建立连接的信令部分 (Signaling, T_{sig}) 和数据批量传输的部分 (T_{data})²。

$$D_{CS} = T_{sig} + T_{data}$$

对信令传输部分，观测信令数据前向传输的情况，其时延可以简化为在交换机上 (T_{SW}) 的处理时延和最后一跳 (T_{LH}) 的时延之和，即：

$$T_{sig} = 2 * (T_{SW} * k + T_{LH}) = 2k * T_{SW} + 2 * T_{LH}$$

²在此未考虑释放连接的时延过程，有兴趣的同学可以自行加上重新测算。

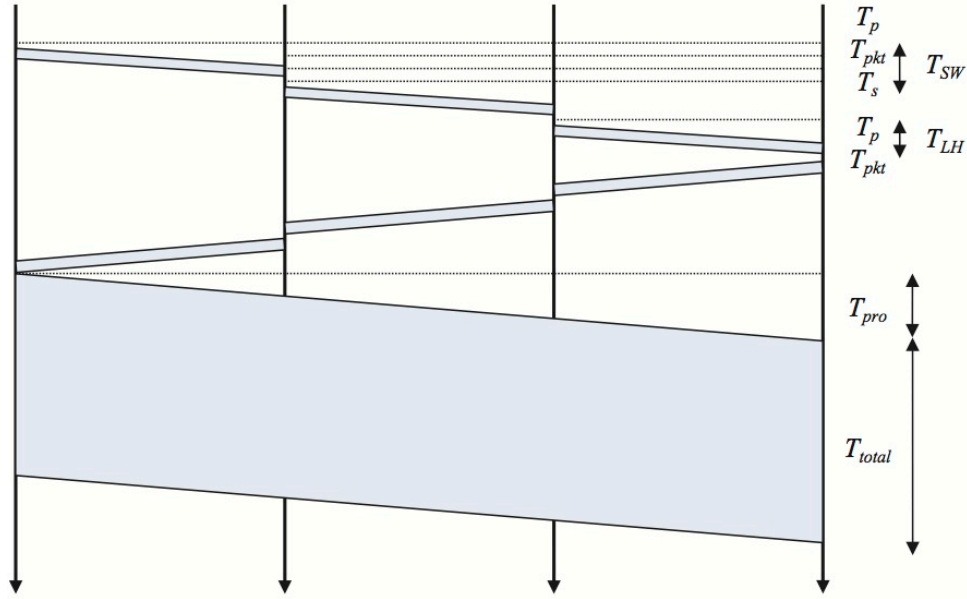


图 1.3: 电路交换的时序示意图

在每个交换机上的处理时延 (T_{SW}) 包括在这一跳处理一个信令包所需要的传播时延 (T_p)、传输时延 (T_{pkt}) 和处理时延 (T_s)；在最后一跳的时延包括传输一个信令包所需要的传播时延 (T_p) 和传输该信令包所需要的传输时延 (T_{pkt})，于是：

$$T_{sig} = 2k * (T_p + T_{pkt} + T_s) + 2 * (T_p + T_{pkt}) = T_p * (2k + 2) + T_{pkt} * (2k + 2) + T_s * 2k$$

在数据批量传输部分，其时延可以简化为一个分组经历所有链路的传播时延 (T_{pro}) 和传输所有数据的传输时延 (T_{total})，即：

$$T_{data} = T_{pro} + T_{total} = T_p * (k + 1) + n/BW$$

于是，电路交换的总延迟为：

$$\begin{aligned} D_{CS} &= T_{sig} + T_{data} = T_p * (3k + 3) + T_{pkt} * (2k + 2) + T_s * 2k + n/BW \\ &= T_p * 18 + T_{pkt} * 12 + T_s * 10 + n/BW \end{aligned}$$

其中， $T_p = 2(ms)$, $T_s = 1(ms)$, $T_{pkt} = 2.048(ms)$, $BW = 4(Mbps)$ ，因此：

$$\begin{aligned} D_{CS} &= (2 * 18 + 2.048 * 12 + 1 * 10) * 10^{-3} + \frac{8}{4 * 10^6} * n \\ &= 70.58 * 10^{-3} + 2 * 10^{-6} * n(s) \end{aligned}$$

要使得电路交换产生的总延迟少于分组交换，即 $D_{CS} \leq D_{PS}$ ，则

$$27.24 * 10^{-3} + 2.048 * 10^{-6} * n \geq 70.58 * 10^{-3} + 2 * 10^{-6} * n$$

解得 $n \geq 902917$ ，由于文件大小是 1000 的整数倍，取 $n \geq 903000(byte)$

(c) 考察分组交换、电路交换的各项性能与传输文件大小 n 的关系

将分组的大小记为 s ，分组首部跟分组大小之比为 α ，则分组首部大小为 $s * \alpha$ ，分组数据部分的大小为 $s * (1 - \alpha)$ 。将交换机的个数记为 k ，各链路的带宽记为 B ，则链路数为 $k + 1$ 。

分组交换的总流量：

$$F_{PS} = F_{head} + F_{data} = h * N_{pkt} + n = (s * \alpha) * [\frac{n}{s * (1 - \alpha)}] + n = \frac{n}{1 - \alpha}$$

电路交换的总流量：

$$F_{CS} = F_{sig} + F_{data} = 2 * s + n$$

分组交换的总时延：

$$\begin{aligned} D_{PS} &= T_{SW} * k + T_{LH} = (T_p + T_{pkt} + T_s) * k + (T_p + T_{total}) \\ &= T_p * (k + 1) + T_s * k + \frac{s}{B} * (k + [\frac{n}{s * (1 - \alpha)}]) \end{aligned}$$

电路交换的总时延：

$$\begin{aligned} D_{CS} &= T_{sig} + T_{data} = 2 * (T_{SW} * k + T_{LH}) + (T_{prop} + T_{total}) \\ &= 2k * (T_p + T_{pkt} + T_s) + 2 * (T_p + T_{pkt}) + T_p * (k + 1) + T_{pkt} * [\frac{n}{s * (1 - \alpha)}] \\ &= T_p * (3k + 3) + T_s * 2k + \frac{s}{B} * (2k + 2 + [\frac{n}{s * (1 - \alpha)}]) \end{aligned}$$

因此，我们可以得到下表的结论：

表 1.1: 不同参数对分组交换和电路交换的性能影响

参数	F_{PS}	F_{CS}	D_{PS}	D_{CS}
交换机数目 (k)	无影响	无影响	随着 k 数目增加而增大	随着 k 数目增加而增大
链路带宽 (B)	无影响	无影响	随着 B 增大而减小	随着 B 增大而减小
分组首部之比 (α)	随着 α 增大而增大	无影响	随着 α 增大而增大	无影响

(d) 此模型可以反映分组交换和电路交换的主要优缺点，但也忽略了一些实际因素，例如：网络设备的处理能力有限，当流量负载超过一定程度时会拥塞，比如电路交换中可以支持的虚电路数量是有限的，分组交换的存储转发队列也是有限的。实际网络中的链路情况也比这个题目复杂，该题目的结论不一定成立，比如不同跳的带宽一致，分组交换中分组可能从多个路径传输，分组传输时可能出错等。

1.1.2 [2] 1-9

〔题目〕

在如图所示的网络结构中，主机 A 要向主机 B 发送一个长度为 $300KB$ 的报文，发送速率为 $10Mb/s$ ，传输路径上要经过 8 个路由器。连接路由器的链路长度为 $100km$ ，信号在链路上的传播速度为 $2 \times 10^8 m/s$ 。每个路由器的排队等待延时为 $1ms$ 。路由器发送速率也为 $10Mb/s$ 。忽略：主机接入到路由器的链路长度，路由器排队等待延时与数据长度无关，并假设信号在链路上传输没有出现差错和拥塞。计算：

- (1) 采用报文交换，报文头长度为 $60B$ ，报文从主机 A 到主机 B 需要多长时间？
- (2) 采用报文分组交换，分组头长度为 $20B$ 时，分组数据长度为 $2KB$ 。报文分组从主机 A 到主机 B 需要多长时间？

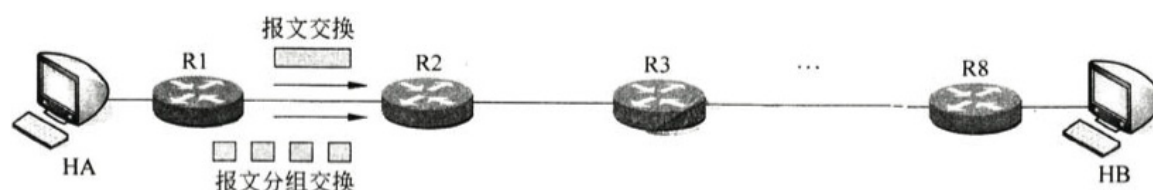


图 1.4: 拓扑示意图

〔解答〕

在系统方法教材 [1] 中只讨论了“电路交换” (Circuit Switching) 和“分组交换” (Packet Switching)，而在中文教材 [2] 和 [3] 中还提到了一种交换方式“报文交换” (Message Switching)。在下图 1.5 中给出了这三种交换方式的对比。

具体说来：

【电路交换】整个报文的比特流连续地从源点直达终点，好像在一个管道中传送。这种方式也被称为“线路交换” [2]。

【报文交换】整个报文先传送到相邻节点，全部存储下后根据转发表转发到下一个节点。

【分组交换】单个分组（整个报文的一部分）传送到相邻节点，存储之后根据转发表转发到下一个节点。根据交换过程的差异，又可以进一步分为“数据报交换” (Datagram) 和“虚电路交换” (Virtual Circuit) 两种，前者的每个分组自包含目的信息而可以被单独转发，后者的分组经由事先建立的虚电路转发。

在点到点传输过程中，路由器设备和交换机设备的存储转发机制并无明显区别，我们还是按照交换网络的情况进行计算。下面的解法参考前面试题的结论。需要说明的是，在吴功宜教材 [2] P33 “1.6.5 分组交换与线路交换的比较”一节，给出了较为详细的另外一种时延测算步骤，有兴趣的同学可以参阅。

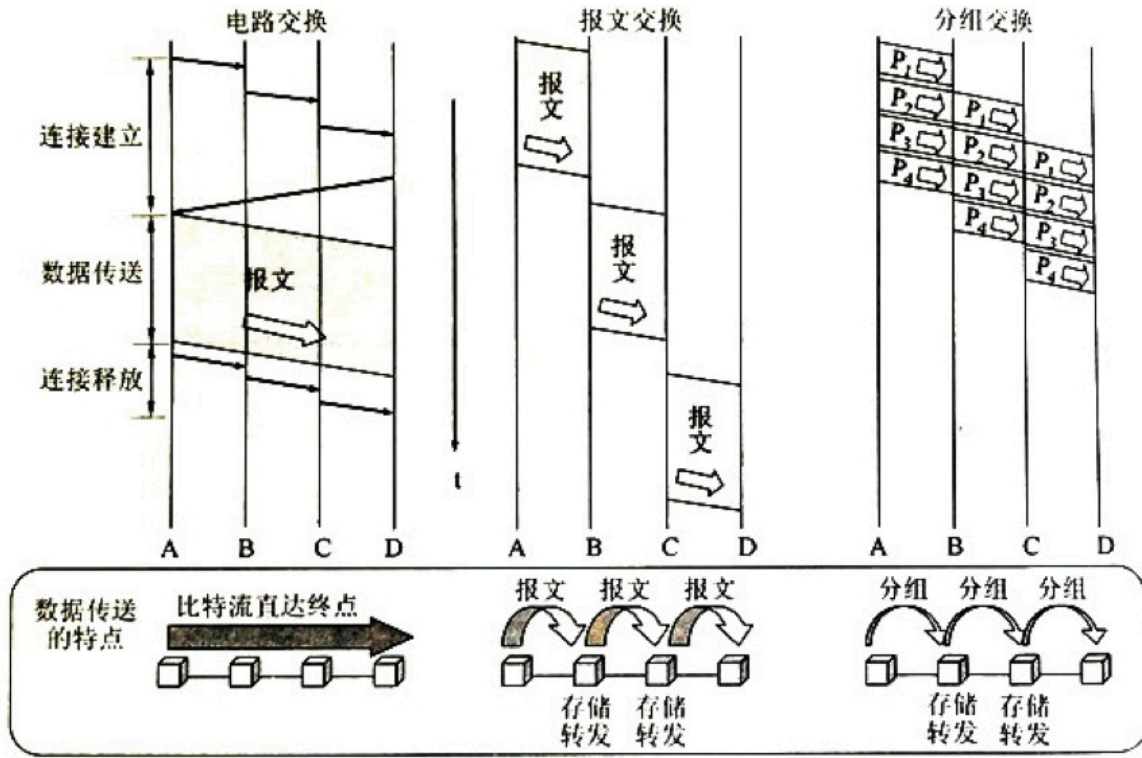


图 1.5: 三种交换方式的对比 (来源于图 1-13 [3])

(1) 报文交换 (Message Switching) 的情况下, 报文整体直接传输, 可以视为一个大的分组。假设路由器有 k 个, 则端到端的报文交换的时延 (D_{MS}):

$$\begin{aligned} D_{MS} &= T_{SW} * k + T_{LH} = (T_{prop} + T_{tran} + T_{SW}) * k + (T_{prop} + T_{tran}) \\ &= T_{prop} * (k + 1) + T_{tran} * (k + 1) + T_{SW} * k \end{aligned}$$

结合图中的拓扑, HA 和 HB 直接连在路由器上, 应为近距离的高速链路, 其传播时延 T_{prop} 可以忽略为 0。但是长距离路由器之间的传播时延不能忽略, 这些时延的数量为 $k - 1$ 个。其中单个传输时延为:

$$T_{prop} = \frac{Distance}{SignalSpeed} = \frac{100 * 10^3}{2 * 10^8} = 0.5 * 10^{-3}(s) = 0.5(ms)$$

待发送的数据大小 $N = 300(KB)$, 分组头部大小 $H = 60(B)$, 链路带宽 $B = 10(Mbps)$, 传输时延为:

$$T_{tran} = \frac{N + H}{B} = \frac{300 * 1024 * 8 + 60 * 8}{10 * 10^6} = 0.2458(s) = 245.81(ms)$$

路由器处理时延 $T_{SW} = 1(ms)$, 则总时延为:

$$\begin{aligned} D_{MS} &= T_{prop} * (k - 1) + T_{tran} * (k + 1) + T_{SW} * k \\ &= 0.5 * (8 - 1) + 245.81 * (8 + 1) + 1 * 8 = 2223.79(ms) \end{aligned}$$

(2) 分组交换 (Packet Switching) 的情况下, 完整的大报文被分为若干个分组进行传输:

$$\begin{aligned} D_{PS} &= T_{SW} * k + T_{LH} = (T_{prop} + T_{tran,pkt} + T_{SW}) * k + (T_{prop} + T_{tran,total}) \\ &= T_{prop} * (k + 1) + T_{SW} * k + T_{tran,pkt} * (k + NumPacket) \end{aligned}$$

待发送的数据大小为 $DataSize = 300(KB)$, 分组数据部分大小 $PayloadSize = 2(KB)$, 相应的分组数量为

$$NumPacket = \frac{DataSize}{PayloadSize} = \frac{300}{2} = 150$$

每个分组的传输时延 ($T_{tran,pkt}$) 为

$$T_{tran,pkt} = \frac{PayloadSize + HeaderSize}{Rate} = \frac{2 * 1024 * 8 + 20 * 8}{10 * 10^6} = 1.654 * 10^{-3}(s) = 1.654(ms)$$

考虑链路传播时延的链路数减少 2 条, 为 $k + 1 - 2 = k - 1$ 条。

则总时延为:

$$\begin{aligned} D_{PS} &= T_{prop} * (k - 1) + T_{SW} * k + T_{tran,pkt} * (k + NumPacket) \\ &= 0.5 * (8 - 1) + 1 * 8 + 1.654 * (8 + 150) = 272.83(ms) \end{aligned}$$

1.1.3 [1] 1-3

[题目]

计算在下列情况下传输一个 $1000KB$ 的文件所需的总时间, 假设 RTT 为 $50ms$, 分组长度为 $1KB$, 在数据发送前的初始“握手”时间为 $2 * RTT$ 。

- (a) 带宽为 $1.5Mbps$, 数据分组可连续发送。
- (b) 带宽为 $1.5Mbps$, 但每发送完一个分组后必须等一个 RTT 后再发送下一个分组。
- (c) 带宽是“无限的”, 这意味着我们可以认为传输时间为 0, 且每个 RTT 最多发送 20 个分组。
- (d) 带宽是无限的, 在第一个 RTT 内能发送一个分组 (2^{1-1}), 在第二个 RTT 内能发送两个分组 (2^{2-1}), 在第三个 RTT 内能发送四个分组 (2^{3-1}), 依此类推。

[解答]

【情况 (a)】

示意图1.6。

握手时延 (Handshake delay, T_h):

$$T_h = 2 * RTT = 2 * 50ms = 0.1(s)$$

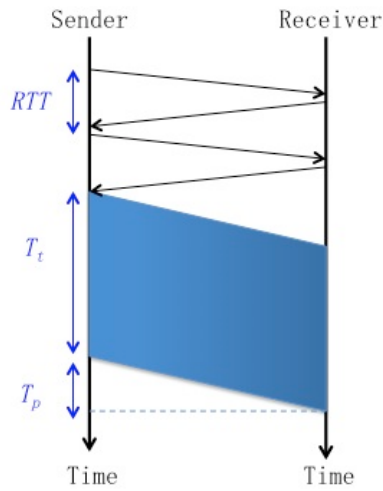


图 1.6: [1]1-3 (a) 时间线示意图

发送时延 (Transmission delay, T_t):

$$T_t = \frac{MessageSize}{Bandwidth} = \frac{1000KB}{1.5Mbps} = \frac{1000*2^{10}*8}{1.5*10^6} = 5.46(s)$$

传播时延 (Prorogation delay, T_p):

$$T_p = \frac{1}{2} * RTT = \frac{1}{2} * 50ms = 0.025(s)$$

总时延 (Total Delay, D):

$$D = T_h + T_t + T_p = 0.1 + 5.46 + 0.025 = 5.585(s)$$

【情况 (b)】

示意图1.7。

握手时延 (Handshake delay, T_h):

$$T_h = 2 * RTT = 2 * 50ms = 0.1(s)$$

发送时延 (Transmission delay, T_t):

$$T_t = \frac{MessageSize}{Bandwidth} = \frac{1000KB}{1.5Mbps} = \frac{1000*2^{10}*8}{1.5*10^6} = 5.46(s)$$

间隔时延 (Interval delay, T_i):

$$T_i = RTT * (\frac{MessageSize}{PackageSize} - 1) = 50ms * (\frac{1000KB}{1KB} - 1) = 0.05 * 999 = 49.95(s)$$

传播时延 (Prorogation delay, T_p):

$$T_p = \frac{1}{2} * RTT = \frac{1}{2} * 50ms = 0.025(s)$$

总时延 (Total Delay, D):

$$D = T_h + T_t + T_p + T_i = 0.1 + 5.46 + 0.025 + 49.95 = 55.535(s)$$

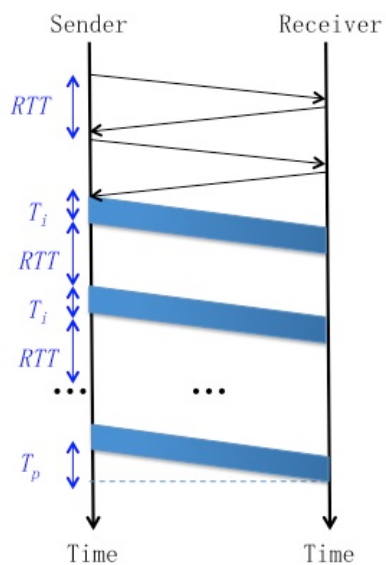


图 1.7: [1]1-3 (b) 时间线示意图

【情况 (c)】

示意图1.8。

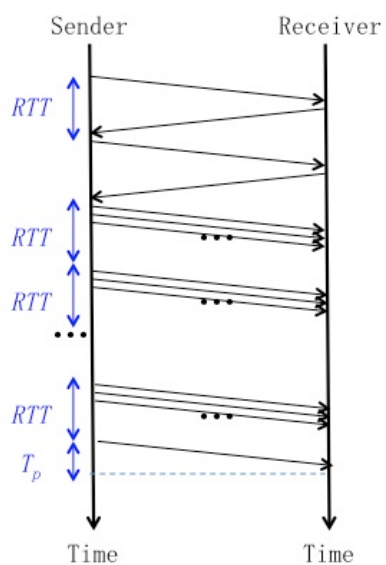


图 1.8: [1]1-3 (c) 时间线示意图

握手时延 (Handshake delay, T_h):

$$T_h = 2 * RTT = 2 * 50ms = 0.1(s)$$

发送时延 (Transmission delay, T_t):

$$T_t = 0$$

间隔时延 (Interval delay, T_i):

$$T_i = RTT * (\frac{MessageSize}{20 * PackageSize} - 1) = 50ms * (\frac{1000KB}{20 * 1KB} - 1) = 0.05 * 49 = 2.45(s)$$

传播时延 (Prorogation delay, T_p):

$$T_p = \frac{1}{2} * RTT = \frac{1}{2} * 50ms = 0.025(s)$$

总时延 (Total Delay, D):

$$D = T_h + T_t + T_p + T_i = 0.1 + 0 + 0.025 + 2.45 = 2.575(s)$$

【情况 (d)】

示意图1.9。

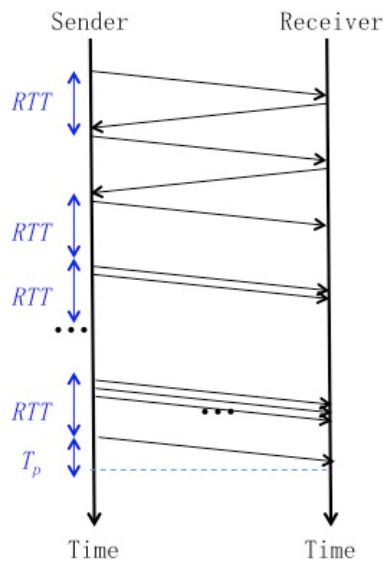


图 1.9: [1]1-3 (d) 时间线示意图

首先计算所需要的传输轮次 (n), 满足 $1KB * (2^{n+1} - 1) \geq 1000KB$, 即:

$$2^{n+1} \geq 1001, n \geq \log_2(1001) - 1 = 8.96, \text{取整数后 } n = 9.$$

握手时延 (Handshake delay, T_h):

$$T_h = 2 * RTT = 2 * 50ms = 0.1(s)$$

发送时延 (Transmission delay, T_t):

$$T_t = 0$$

间隔时延 (Interval delay, T_i):

$$T_i = RTT * n = 50ms * 9 = 0.05 * 9 = 0.45(s)$$

传播时延 (Prorogation delay, T_p):

$$T_p = \frac{1}{2} * RTT = \frac{1}{2} * 50ms = 0.025(s)$$

总时延 (Total Delay, D):

$$D = T_h + T_t + T_p + T_i = 0.1 + 0 + 0.025 + 0.45 = 0.575(s)$$

1.1.4 [1] 1-20

〔题目〕

主机 A 和 B 分别通过 10Mbps 链路连接到交换机 S 上. 每条链路的传播时延的传播延迟为 $20\mu s$. S 是一个存储转发式设备, 它在收到一个分组 $35\mu s$ 后再开始将其转发. 计算从 A 到 B 发送 10000 比特所需的总时间. (a) 作为一个分组; (b) 作为两个 5000 比特的分组一个紧接一个发送.



图 1.10: [1]1-20 图

〔解答〕

分析: 情况 (a) 即报文交换; 情况 (b) 即分组交换的典型场景. 这个题有助于理解两种交换的性能差异.

(a) 作为一个分组;

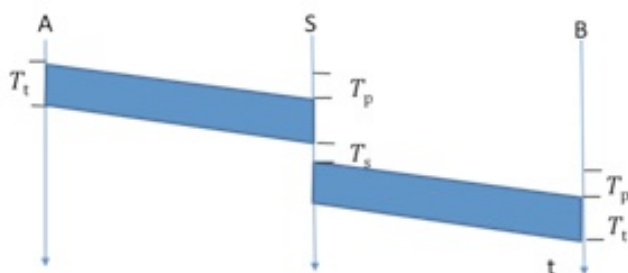


图 1.11: [1]1-20-(a) 图

总传输时延 D 可以由沿途各跳路由器时延 (Switch Delay, T_{SW}) 和在最后一跳的交换机时延 (Last Hop Delay, T_{LH}) 累计求和得到. 记在每个接收交换机处的传播时延 (Propagation Delay) 为 T_p , 传输时延 (Transmission Delay) 为 T_t , 交换机处理时延 (Switch Processing Delay) 为 T_s .

则总传输时延 D 为:

$$\begin{aligned}
 D &= T_{SW} * N_{SW} + T_{LH} = (T_p + T_t + T_s) * 1 + (T_p + T_t) = 2T_t + 2T_p + T_s \\
 &= 2 * \frac{10000b}{10Mbps} + 2 * 20\mu s + 35\mu s = 2 * 1000\mu s + 2 * 20\mu s + 35\mu s \\
 &= 2075(\mu s)
 \end{aligned}$$

(b) 作为两个 5000 比特的分组一个紧接一个发送.

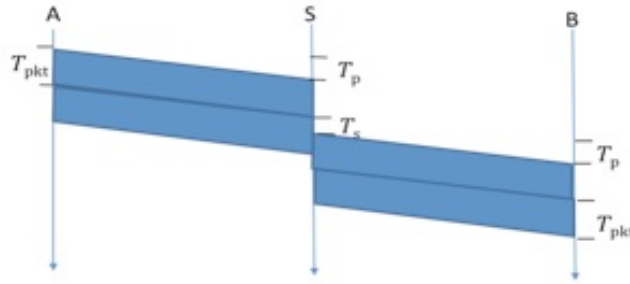


图 1.12: [1]1-20-(b) 图

总传输时延 D 可以由沿途各跳路由器时延 (Switch Delay, T_{SW}) 和在最后一跳的交换机时延 (Last Hop Delay, T_{LH}) 累计求和得到。记在每个接收交换机处的传播时延 (Propagation Delay) 为 T_p , 传输时延 (Transmission Delay) 为 T_t , 单个分组交换的传输时延 (Packet Transmission Delay) 为 T_{pkt} , 交换机处理时延 (Switch Processing Delay) 为 T_s , 根据题意, $T_t = 2 * T_{pkt}$

则总传输时延 D 为:

$$\begin{aligned}
 D &= T_{SW} * N_{SW} + T_{LH} = (T_p + T_{pkt} + T_s) * 1 + (T_p + T_t) = 3T_{pkt} + 2T_p + T_s \\
 &= 3 * \frac{5000b}{10Mbps} + 2 * 20\mu s + 35\mu s = 3 * 500\mu s + 2 * 20\mu s + 35\mu s \\
 &= 1575(\mu s)
 \end{aligned}$$

从本题可以看出, 连续分组交换的处理性能可以比报文交换更快.

1.2 网络体系架构

1.2.1 体系架构比较

〔题目〕

1. 请分别作出 ISO/OSI 网络体系架构和 TCP/IP 网络体系的示意图，说明两种架构的差异。
2. 为什么 TCP/IP 会成功？

〔回答〕

1. ISO/OSI 网络体系架构和 TCP/IP 网络体系架构的示意图如图1.13所示。

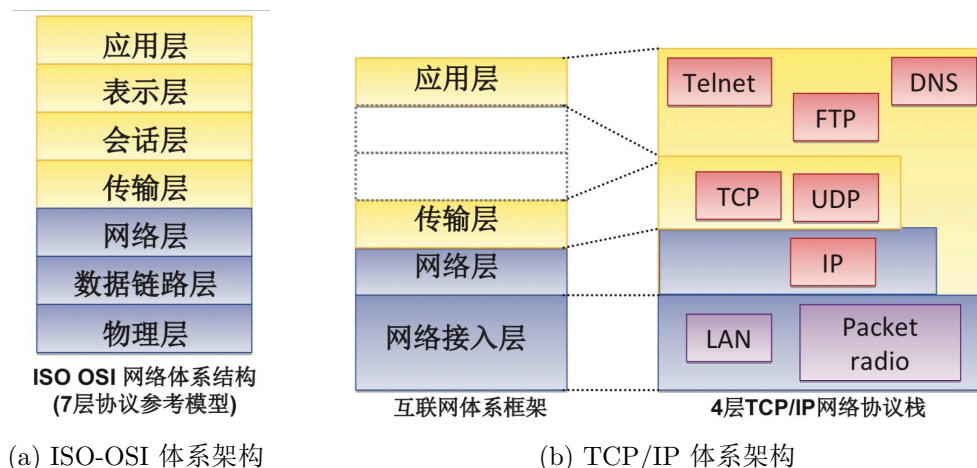


图 1.13: 两种网络体系架构对比

这两种架构的差异主要包括：

(1) 设计动机：OSI 参考模型是 1974 年 ISO 标准组织提出了网络体系架构与协议发展的标准，其将网络按照功能划分为 7 层，建议实践中由一个或者多个协议实现特定层的功能。TCP/IP 协议族在发展初期并没有参考模型，经过 1974 年至 1988 年间学术界的整理，在现行 TCP/IP 协议基础上提出了 TCP/IP 网络的体系架构（也称为互联网体系架构、TCP/IP 参考模型等）。

(2) 分层结构：OSI 参考模型和 TCP/IP 网络体系架构虽然均采用了层次结构，但是在层次划分与协议内容上存在很大差异。如图1.13所示，OSI 参考模型分为 7 层，而 TCP/IP 体系架构分为 4 层。从功能角度来看，TCP/IP 体系架构的应用层与 OSI 参考模型的应用层、表示层、会话层对应；TCP/IP 体系架构的传输层与 OSI 参考模型的传输层对应；TCP/IP 体系架构的网络层与 OSI 参考模型的网络层对应；TCP/IP 体系架构的网络接入层与 OSI 参考模型的数据链路层和物理层对应。值得注意的是，TCP/IP 各层次之间的调用关系并不严

格遵循分层概念，某些应用可以直接使用 IP 层甚至直接使用最底层的网络接口层。

(3) 协议实现：OSI 参考模型是为了实现开放系统环境中互连性、互操作性以及应用可移植性而提出的一个概念型框架，模型详细说明了各层之间的相互关系以及所提供的服务，并不涉及具体的实现方法。TCP/IP 体系架构是在现行 Internet 的 TCP/IP 协议基础上做出的一种概念性描述，其每一层都有具体的协议实现。TCP/IP 协议图中呈现顶部宽、中间窄、底部宽的沙漏形状，IP 协议是互联网体系架构的焦点，IP 之上可以有多个传输协议，IP 之下也允许有不同的网络技术。每一个在互联网体系架构上采用的正式协议都需要有一个该协议的典型实现。

(4) 概念定义：为了便于标准化，OSI 参考模型中明确给出了“服务”、“协议”、“接口”的概念。而 TCP/IP 体系架构并没有给出服务、协议和接口等定义。

综上所述，OSI 参考模型只是一个用于网络互联的理论模型，TCP/IP 体系架构是网络互联的事实上的工业标准。

2. TCP/IP 成功的原因。

虽然 OSI 参考模型的设计初衷是制定一个适用于全世界计算机网络的统一标准，但是 TCP/IP 参考模型却成为了事实的标准。

从技术特点上来看，TCP/IP 参考模型建立在现行 Internet 的 TCP/IP 协议基础之上，具有开放、易于实现和推广的特点。其中 IP 协议有效实现了异构网络的互联，而 TCP 协议和 UDP 协议为各种不同的上层应用分别提供了面向连接和无连接服务。相反，OSI 参考模型在设计与实现上存在一定的缺陷，例如：层次定义上过于冗余，通用性的考虑使得其实现变得复杂，实现周期长，运行效率低，等等。

从推广策略上来看，OSI 参考模型的制定者缺乏足够的商业驱动力，整套标准直到 20 世纪 90 年代初期才制定出来。但是因特网已抢先在全世界覆盖了相当大的范围，市场上很难找到符合 OSI 标准的商用产品。因此 OSI 参考模型的市场化失败了。相反，TCP/IP 参考模型走了“先实现后模型”的路线，抓住了有利时机，从而争取到了学术界与产业界的支持。

1.3 网络性能评估

1.3.1 [1] 1-13

〔题目〕

假设在地球和新的月球定居地之间架设了一条 $100Mbps$ 的点到点链路。从月球到地球的距离大约是 $385000km$ ，而且数据在链路上以光速传播，即 $3 * 10^8 m/s$ 。

(a) 计算链路的最小 RTT。

(b) 使用 RTT 作为延迟，计算链路的延迟与带宽的乘积。

(c) 在 (b) 中计算的延迟与带宽的乘积值的意义是什么？

(d) 在月球基地上的一部照相机拍摄了一张地球的照片，并以数字的形式存入磁盘。假设地球上的任务控制中心希望下载最新的图像，大小是 $25MB$ 。计算从发出请求到传输完毕耗费的最小时间。

〔解答〕

(a) 链路的最小 RTT，即仅有传播时延 T_{prop} ，而分组传输时延 $T_{trans} = 0$ 、处理时延 $T_{proc} = 0$ 。

$$RTT_{min} = T_{prop} = 2 * \frac{\text{Distance}}{\text{Signal Speed}} = 2 * \frac{3.85 * 10^5 * 10^3(m)}{3 * 10^8(m/s)} = 2.57(s)$$

(b) 链路的带宽时延积的意义：发送方在接收到接收方反馈回来的第一个比特之前，发送方必须发送的比特数。

$$\text{Bandwidth} * \text{Delay} = 2.57 * 100 * 10^6 = 2.57 * 10^8(bit) = 30.64(MB)$$

(d) 从发出请求到传输完毕耗费的最小时间，包括传播时延 T_{prop} 和传输时间 T_{trans} 。其中 T_{trans} 的最小值即视 $25MB$ 为一个报文来传输的时间。

$$T_{trans} = \frac{\text{FileSize}}{\text{Bandwidth}} = \frac{25 * 2^{20} * 8(b)}{100 * 10^6(bps)} = 2.10(s)$$

$$\text{Delay} = T_{prop} + T_{trans} = 2.57 + 2.10 = 4.67(s)$$

参考文献

- [1] Larry L. Peterson, Bruce S. Davie [著], 王勇, 张龙飞等 [译] 计算机网络: 系统方法 (第五版). Morgan Kaufmann, 机械工业出版社, 2015.
- [2] 吴功宜. 计算机网络 (第三版). 清华大学出版社, 2011.
- [3] 谢希仁. 计算机网络 (第六版). 电子工业出版社, 2014.