

第一章习题答案及解析

R1. “主机”和“端系统”之间有什么不同？列举几种不同类型的端系统。Web 服务器是一种端系统吗？

R1

没有不同，主机=端系统；端系统包括 PC、邮件服务器、智能手机等；Web 服务器是一种端系统。

书 P7：因特网的端系统包括了桌面计算机（例如，桌面 PC, Mac 和 Linux 设备）、服务器（例如，Web 和电子邮件服务器）和移动计算机（例如，便携机、智能手机和平板电脑）。

补充：

1) 从构成的角度来看，计算机网络由节点和链路构成，其中节点可以分成两类，分别是什么，以及作用是什么？链路分两类，分别是什么，作用是什么？

答：

□ 节点

- 主机及其上运行的应用程序
- 路由器、交换机等网络交换设备

□ 边：通信链路

- 接入网链路：主机连接到互联网的链路
- 主干链路：路由器间的链路

2) 从服务的角度来看，计算机网络是什么？简单做个描述

答：为应用程序提供服务的基础设施，为 **apps** 提供编程接口（通信服务）。

3) 给出计算机网络中协议的定义和含义；

答：协议定义了两个或多个通信实体之间交换的报文格式和次序，以及在报文传输和/或接收或其他事件方面所采取的动作。

4) 网络应用进程之间的交互方式来看，可以分成 C/S 模式和 P2P 模式，分别描述二者的特点；

答：C/S：客户端向服务器请求、接收服务（ppt）；

客户相互之间不直接通信，且该服务器具有固定的周知的地址(IP 地址)。(ch2)

P2P：很少（甚至没有）专门的服务器；(ppt)

应用程序在对等方之间直接通信，具有自扩展性与成本效率。(ch2)

5) 网络核心主要功能是什么，常见的网络核心的工作方式有哪两类？

答：主要功能：路由：决定分组采用的源到目标的路径；

转发：将分组从路由器的输入链路转移到输出链路。

工作方式：分组交换，电路交换

6) 线路交换工作方式下的网络，两台主机之间建立起的线路是独享还是共享的，为什么？

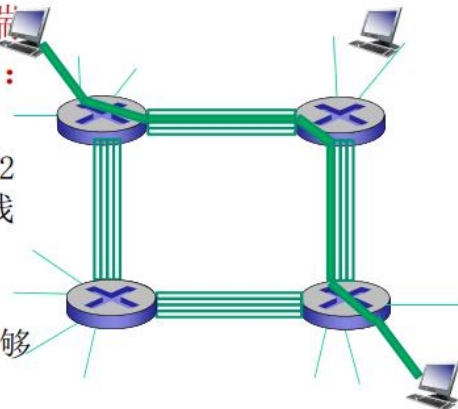
答：独享的。当两台主机要通信时，该网络在两台主机之间创建一条专用的端到端连接，端到端的资源被分配给从源端到目标端的呼叫“call”，每个呼叫一旦建立起来就能够保证性能，如果呼叫没有数据发送，被分配的资源就会被浪费。

分组交换：共享

网络核心：电路交换

端到端的资源被分配给从源端到目标端的呼叫“call”：

- 图中，每段链路有4条线路：
 - 该呼叫采用了上面链路的第2个线路，右边链路的第1个线路（piece）
- 独享资源：不同享
 - 每个呼叫一旦建立起来就能够保证性能
- 如果呼叫没有数据发送，被分配的资源就会被浪费（*no sharing*）
- 通常被传统电话网络采用



R9. 拨号调制解调器、HFC、DSL 和 FTTH 都用于住宅接入。对于这些技术中的每一种，给出传输速率的范围，并讨论有关带宽是共享的还是专用的。

R9.

拨号调制解调器：	56 Kbps	专用的
HFC：	最高 30 Mbps 的下行速率和最高 2 Mbps 的上行速率	<u>共享的</u>
DSL：	最高 24 Mbps 的下行速率和最高 2.5 Mbps 的上行速率	<u>专用的</u>
FTTH：	平均下行速率 20Mbps	共享的

R11. 假定在发送主机和接收主机间只有一台分组交换机。发送主机和交换机间以及交换机和接收主机间的传输速率分别是 R_1 和 R_2 。假设该交换机使用存储转发分组交换方式，发送一个长度为 L 的分组的端到端总时延是什么？（忽略排队时延、传播时延和处理时延。）

R11.

在 t_0 时刻，发送端开始传输，因为没有传播时延，当 $t_1 = L / R_1$ ，交换机接收到整个分组，并开始传输分组到接收端，当 $t_2 = t_1 + L / R_2$ 时，接收端接收到整个分组。因此总的端到端延迟为 $t = L / R_1 + L / R_2$ 。

（存储转发传输：书 P15-17）

R12. 与分组交换网络相比，电路交换网络有哪些优点？在电路交换网络中，TDM 比 FDM 有哪些优点？

R12.

电路交换网络为呼叫预留了端到端资源，为连接预留了带宽，以使发送方能以确保的恒定速率向接收方传送数据。而目前的大多数分组交换网络不能做任何的端到端的带宽保证。

FDM 需要复杂的模拟硬件才能将信号移入适当的频带。

13. 假定用户共享一条 2Mbps 链路。同时假定当每个用户传输时连续以 1Mbps 传输，但每个用户仅传输 20% 的时间。

- 当使用电路交换时，能够支持多少用户？
- 作为该题的遗留问题，假定使用分组交换。为什么如果两个或更少的用户同时传输的话，在链路前面基本上没有排队时延？为什么如果 3 个用户同时传输的话，将有排队时延？
- 求出某指定用户正在传输的概率。
- 假定现在有 3 个用户。求出在任何给定的时间，所有 3 个用户在同时传输的概率。求出队列增长的时间比率。

R13

- 可以支持两个用户，每个用户需要一半的链路带宽。
- 由于每个用户在传输时需要 1Mbps，如果两个或更少用户同时传输，则最多需要 2Mbps。由于共享链路的可用带宽为 2Mbps，因此在链路之前基本没有排队延迟；如果三个用户同时传输，则所需带宽将是 3Mbps，这大于共享链路的可用带宽。在这种情况下，会有排队延迟。
- 0.2
- 三个用户在同时传输的概率 $= 0.2 \times 0.2 \times 0.2 = 0.008$ ；
由于队列在所有用户正在传输时增长，所以队列增长的时间比率 = 所有三个用户同时传输的概率 $= 0.008$ 。

R18. 一个长度为 1000 字节 的分组经距离为 2500km 的链路传播，传播速率为 2.5×10^8 m/s 并且传输速率为 2Mbps，它需要用多长时间？更为一般地，一个长度为 L 的分组经距离为 d 的链路传播，传播速率为 s 并且传输速率为 R bps，它需要用多长时间？该时延与传输速率相关吗？

R18

英文原题：How long does it take a packet of length 1,000 bytes to propagate over a link of distance 2,500 km, propagation speed m/s, and transmission rate 2 Mbps? More generally, how long does it take a packet of length L to propagate over a link of distance d , propagation speed s , and transmission rate R bps? Does this delay depend on packet length? Does this delay depend on transmission rate?

英文原题中要求计算传播时延，与传输速率没有关系。中文原题中本意也是求传播时延。

第一问：

$$\frac{2500\text{km}}{2.5 \times 10^8\text{m/s}} = 10\text{msec}$$

第二问：时间为 d/s ，与传输速率没有关系。

R19. 假定主机 A 要向主机 B 发送一个大文件。从主机 A 到主机 B 的路径上有 3 段链路，其速率分别为 $R_1 = 500\text{kbps}$, $R_2 = 2\text{Mbps}$, $R_3 = 1\text{Mbps}$ 。

- 假定该网络中没有其他流量，该文件传送的吞吐量是多少？
- 假定该文件为 4MB。传输该文件到主机 B 大致需要多长时间？
- 重复 (a) 和 (b)，只是这时 R_2 减小到 100kbps。

R19

此题需要注意的有两个点：

- 注意 Byte 与 bit 的区别 $1\text{B} = 8\text{b}$ (B=Byte, b=bit)
- 数据传输速率的衡量单位 K 是十进制含义，数据存储的 K 是二进制含义，也就是说

$$1\text{kbps} = 1000\text{bps}, 1\text{Mbps} = 10^6\text{bps}$$

$$1\text{MB} = 1024\text{KB} = 1024 \times 1024\text{B}$$

- 吞吐量是瓶颈链路的传输速率（第七版书中的 30 页），即吞吐量为三条链路中最小的传输速率，吞吐量为 500kbps。

b.

$$\frac{4\text{MB}}{500\text{kbps}} = \frac{4 \times 1024 \times 1024\text{B}}{500 \times 10^3\text{bps}} = \frac{4 \times 1024 \times 1024 \times 8\text{b}}{500 \times 10^3\text{bps}} = 67.11\text{s}$$

若将 1024 近似为 1000，结果为：

$$\frac{4 \times 1024 \times 1024 \times 8\text{b}}{500 \times 10^3\text{bps}} \approx \frac{4 \times 10^6 \times 8\text{b}}{500 \times 10^3\text{bps}} = 64\text{s}$$

- 吞吐量为 100kbps

结果为：

$$\frac{4\text{MB}}{100\text{kbps}} = \frac{4 \times 1024 \times 1024\text{B}}{100 \times 10^3\text{bps}} = \frac{4 \times 1024 \times 1024 \times 8\text{b}}{100 \times 10^3\text{bps}} = 335.54\text{s}$$

或者为：

$$\frac{4 \times 1024 \times 1024 \times 8\text{b}}{100 \times 10^3\text{bps}} \approx \frac{4 \times 10^6 \times 8\text{b}}{100 \times 10^3\text{bps}} = 320\text{s}$$

R23. 因特网协议栈中的 5 个层次有哪些？在这些层次中，每层的主要任务是什么？

R23

网络协议栈中的五个层次：应用层、运输层、网络层、链路层、物理层

应用层：应用层是网络应用程序及它们的应用层协议留存的地方。端系统上的应用程序通过应用层协议与另一个端系统的应用程序交换信息分组。

运输层：主机之间的数据传输，在应用程序端点之间传送应用层报文。

网络层：为数据报从源到目的选择路由。

链路层：相邻网络节点之间的数据传输。

物理层：在线路上传输 bit。

R25. 路由器处理因特网协议栈中的哪些层次？链路层交换机处理的是哪些层次？主机处理的是哪些层次？

R25

路由器处理网络层、链路层、物理层。

链路层交换机处理链路层、物理层。

主机处理：应用层、运输层、网络层、链路层、物理层。

P2. 式 (1-1) 给出了经传输速率为 R 的 N 段链路发送长度 L 的一个分组的端到端时延。对于经过 N 段链路连续地发送 P 个这样的分组，一般化地表示出这个公式。

P2

第七版书中 17 页给出了公式 1-1 的计算过程。

在 $(P-1)\frac{L}{R}$ 时刻源端开始发送第 P 个分组，第 P 个分组到达目的地的时间为 $N\frac{L}{R}$ ，故发送 P

个分组的时间为 $(N+P-1)\frac{L}{R}$ 。

P3. 考虑一个应用程序以稳定的速率传输数据（例如，发送方每 k 个时间单元产生一个 N 比特的数据单元，其中 k 较小且固定）。另外，当这个应用程序启动时，它将连续运行相当长的一段时间。回答下列问题，简要论证你的回答：

- 是分组交换网还是电路交换网更为适合这种应用？为什么？
- 假定使用了分组交换网，并且该网中的所有流量都来自如上所述的这种应用程序。此外，假定该应用程序数据传输速率的总和小于每条链路的各自容量。需要某种形式的拥塞控制吗？为什么？

P3

- 电路交换更适合这种网络。因为应用程序涉及具有可预测的平滑带宽要求的长会话，传输速率是已知的而不是突发的，所以可以为应用程序会话保留带宽，而不会造成很大的浪费。
- 在最坏的情况下，所有应用程序同时通过一条链路进行传输。由于每条链接的带宽大于所有应用程序的数据传输速率之和，因此不会出现拥塞(很少有队列)。所以不需要拥塞控制机制。

P6. 这个习题开始探讨传播时延和传输时延，这是数据网络中的两个重要概念。考虑两台主机 A 和 B 由一条速率为 R bps 的链路相连。假定这两台主机相隔 m 米，沿该链路的传播速率为 s m/s。主机 A 向主机 B 发送长度 L 比特的分组。

- 用 m 和 s 来表示传播时延 d_{prop} 。
- 用 L 和 R 来确定该分组的传输时间 d_{trans} 。
- 忽略处理和排队时延，得出端到端时延的表达式。
- 假定主机 A 在时刻 $t=0$ 开始传输该分组。在时刻 $t=d_{trans}$ ，该分组的最后一个比特在什么地方？
- 假定 d_{prop} 大于 d_{trans} 。在时刻 $t=d_{trans}$ ，该分组的第一个比特在何处？
- 假定 d_{prop} 小于 d_{trans} 。在时刻 $t=d_{trans}$ ，该分组的第一个比特在何处？
- 假定 $s = 2.5 \times 10^8$ ， $L = 120$ 比特， $R = 56$ kbps。求出使 d_{prop} 等于 d_{trans} 的距离 m 。

- 传播时延的定义在第七版书的 26 页。根据定义可知 $d_{prop} = m/s$ seconds。
- 传输时延的定义在第七版书的 25 页。根据定义可知 $d_{trans} = L/R$ seconds。
- 若忽略处理和排队时延，则端到端时延为传播时延与传输时延之和，为 $d_{end-to-end} = (m/s + L/R)$ seconds。
- 在 $t = d_{trans}$ 时说明该分组刚刚被传输完，分组的最后一个比特刚离开主机 A。
- $d_{prop} > d_{trans}$ 说明当分组的最后一个比特离开主机 A 的时候，分组的第一个比特还未到达主机 B，在主机 A、B 之间的链路中。即在 $t = d_{trans}$ 时，分组的第一个比特在主机 A、B 之间的链路中。
- $d_{prop} < d_{trans}$ 说明当分组的最后一个比特离开主机 A 的时候，分组的第一个比特已经到达主机 B。即在 $t = d_{trans}$ 时，分组的第一个比特在主机 B 中。
- 当 $d_{prop} = d_{trans}$ 时说明 $\frac{m}{s} = \frac{L}{R}$ ，带入数据后可得：

$$m = \frac{L}{R} s = \frac{120}{56 \times 10^3} (2.5 \times 10^8) = 536 \text{ km}。$$

PS：传输时延 (transmission delay)：路由器推出分组所需要的时间，是分组长度和链路传输速率的函数，而与两台路由器间距离无关；

传播时延 (propagation delay)：一个比特从一台路由器传播到另一台路由器所需要的时间，是两台路由器直接距离的函数。

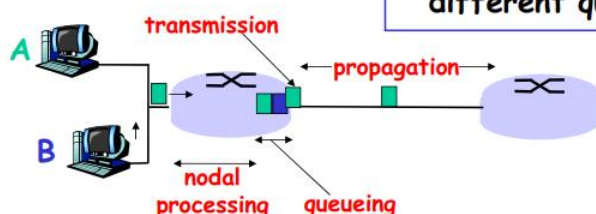
3. 传输延时:

- ☐ R =链路带宽(bps)
- ☐ L =分组长度(bits)
- ☐ 将分组发送到链路上的时间= L/R
- ☐ 存储转发延时

4. 传播延时:

- ☐ d = 物理链路的长度
- ☐ s = 在媒体上的传播速度 ($\sim 2 \times 10^8$ m/sec)
- ☐ 传播延时 = d/s

Note: s and R are very different quantities!



P14. 考虑路由器缓存中的排队时延。令 I 表示流量强度；即 $I = La/R$ 。假定排队时延的形式为 $IL/R(1-I)$ ，其中 $I < 1$ 。

a. 写出总时延公式，即排队时延加上传输时延。

b. 以 L/R 为函数画出总时延的图。

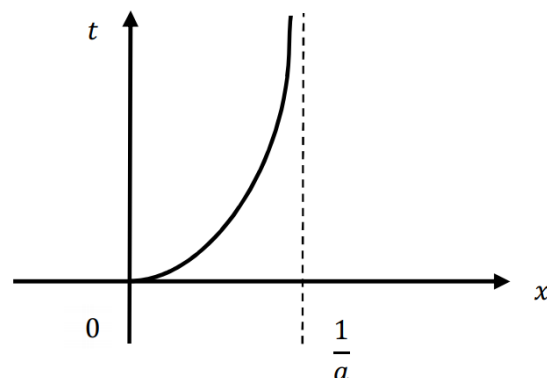
P14

$$(a) \quad t = t_{\text{queue}} + t_{\text{trans}} = \frac{IL}{R(1-I)} + \frac{L}{R} = \frac{IL+L(1-I)}{R(1-I)} = \frac{L}{R(1-I)}$$

$$(b) \quad t = \frac{L}{R(1-I)} = \frac{L}{R(1-La/R)}$$

$$\text{令 } x = L/R, \text{ 则 } t = \frac{L}{R(1-La/R)} = \frac{x}{1-ax}$$

注意 x 定义域为 $[0, 1/a)$



P22. 考虑图 1-19b。假定服务器与客户之间的每条链路的丢包概率为 p ，且这些链路的丢包率是独立的。一个（由服务器发送的）分组成功地被接收方收到的概率是多少？如果在从服务器到客户的路径上分组丢失了，则服务器将重传该分组。平均来说，为了使客户成功地接收该分组，服务器将要重传该分组多少次？

P22

(1) 分组从服务器到客户需要经过 N 跳，每一跳不丢包的概率均为 $1-p$ ，由服务区发送的分组被接收方成功接收需要保证每一跳均不丢包，即概率为：

$$p_s = (1-p)^N$$

(2) 分组经过 i 次传输后成功到达客户的概率为

$$(1-p_s)^{i-1} p_s$$

平均传输次数为：

$$\sum_{i=1}^{\infty} i(1-p_s)^{i-1} p_s = \sum_{i=1}^{\infty} i(1-p_s)^{i-1} (1-(1-p_s))$$

$$= \sum_{i=1}^{\infty} i(1-p_s)^{i-1} - \sum_{i=1}^{\infty} i(1-p_s)^i$$

$$\text{其中 } \sum_{i=1}^{\infty} i(1-p_s)^{i-1} = \frac{1-(1-p_s)^N}{1-(1-p_s)} = \frac{1-p_s}{p_s} = \frac{1}{p_s} - 1 \quad (S = \frac{a(1-q^N)}{1-q})$$

$$\text{求导得: } \sum_{i=1}^{\infty} i(1-p_s)^{i-1} = \frac{1}{p_s}$$

$$\therefore \sum_{i=1}^{\infty} i(1-p_s)^i = \sum_{i=1}^{\infty} i(1-p_s)^{i-1} \cdot (1-p_s) = \frac{1-p_s}{p_s}$$

$$\therefore \text{原式} = \frac{1}{p_s} - \frac{1-p_s}{p_s} = \frac{1}{p_s}$$

\therefore 平均需重传 $\frac{1}{p_s} - 1$ 次

P25. 假定两台主机 A 和 B 相隔 20 000km，由一条直接的 $R = 2\text{Mbps}$ 的链路相连。假定跨越该链路的传播速率是 $2.5 \times 10^8 \text{m/s}$ 。

- 计算带宽-时延积 $R \cdot t_{\text{prop}}$ 。
- 考虑从主机 A 到主机 B 发送一个 800 000 比特的文件。假定该文件作为一个大的报文连续发送。在任何给定的时间，在链路上具有的比特数量最大值是多少？
- 给出带宽-时延积的一种解释。
- 在该链路上一个比特的宽度（以米计）是多少？它比一个足球场更长吗？
- 根据传播速率 s 、带宽 R 和链路 m 的长度，推导出一个比特宽度的一般表示式。

$$\text{a. } R \cdot t_{\text{prop}} = R \cdot \frac{d}{s} = 2 \times 10^6 \text{bps} \cdot \frac{2 \times 10^7 \text{m}}{2.5 \times 10^8 \text{m/s}} = 1.6 \times 10^5 \text{bits}$$

$$\text{b. } 1.6 \times 10^5 \text{bits}$$

c. 链路上能容纳的最大比特数量

$$\text{d. 1bit 在信道中的持续时间为 } t_{\text{bit}} = \frac{1}{R} = 5 \times 10^{-7} \text{s}$$

1bit 的宽度为 $s \cdot t_{\text{bit}} = 125\text{m}$ ，比足球场长

$$\text{e. 1bit 宽度为 } s \cdot t_{\text{bit}} = s \cdot \frac{1}{R} = \frac{s}{R}$$

带宽-时延积：第一个 bit 到达接收方之前，链路上能容纳的 bit 数

P27. 考虑习题 P25，但现在链路的速率是 $R = 1\text{Gbps}$ 。

- 计算带宽-时延积 $R \cdot d_{\text{prop}}$ 。
- 考虑从主机 A 到主机 B 发送一个 800 000 比特的文件。假定该文件作为一个大的报文连续发送。在任何给定的时间，在链路上具有的比特数量最大值是多少？
- 在该链路上一个比特的宽度（以米计）是多少？

P27.

$$\text{a. } R \cdot t_{\text{prop}} = R \cdot \frac{d}{s} = 1 \times 10^9 \text{bps} \cdot \frac{2 \times 10^7 \text{m}}{2.5 \times 10^8 \text{m/s}} = 8 \times 10^7 \text{bits}$$

b. 文件大小 $8 \times 10^5 \text{bits} < \text{信道容量 } 8 \times 10^7 \text{bits}$ ，则链路上最大的比特数为 $8 \times 10^5 \text{bits}$

$$\text{c. 1bit 宽度为 } s \cdot t_{\text{bit}} = s \cdot \frac{1}{R} = \frac{s}{R} = \frac{2.5 \times 10^8}{1 \times 10^9} = 0.25 \text{m}$$

P31. 在包括因特网的现代分组交换网中，源主机将长应用层报文（如一个图像或音乐文件）分段为较小的分组并向网络发送。接收方则将这些分组重新装配为初始报文。我们称这个过程为报文分段。图 1-27 显示了一个报文在报文不分段或报文分段情况下的端到端传输。考虑一个长度为 8×10^6 比特的报文，它在图 1-27 中从源发送到目的地。假定在该图中的每段链路是 2Mbps。忽略传播、排队和处理时延。

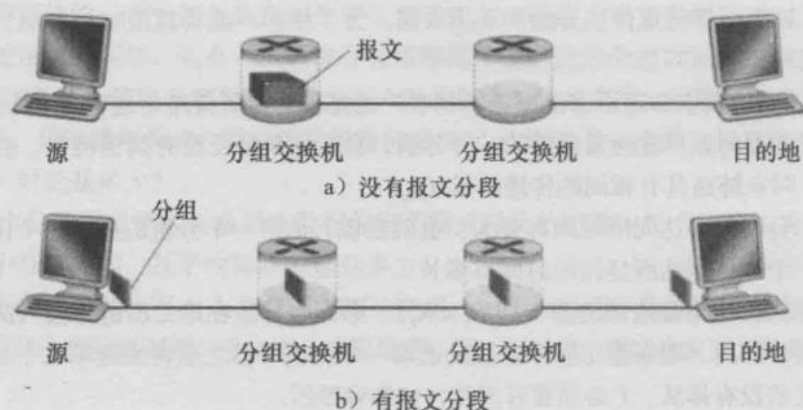


图 1-27 端到端报文传输

- 考虑从源到目的地发送该报文且没有报文分段。从源主机到第一台分组交换机移动报文需要多长时间？记住，每台交换机均使用存储转发分组交换，从源主机移动该报文到目的主机需要多长时间？
- 现在假定该报文被分段为 800 个分组，每个分组 10 000 比特长。从源主机移动第一个分组到第一台交换机需要多长时间？从第一台交换机发送第一个分组到第二台交换机，从源主机发送第二个分组到第一台交换机各需要多长时间？什么时候第二个分组能被第一台交换机全部收到？
- 当进行报文分段时，从源主机向目的主机移动该文件需要多长时间？将该结果与 (a) 的答案进行比较并解释之。
- 除了减小时延外，使用报文分段还有什么原因？
- 讨论报文分段的缺点。

a. 从源主机移动报文到第一台分组交换机需要 $\frac{L}{R} = \frac{8 \times 10^6 \text{ bits}}{2 \text{ Mbps}} = 4 \text{ s}$

从源主机移动该报文到目的主机需要 $4 \text{ s} \times 3 = 12 \text{ s}$

b. 从源主机移动第一个分组到第一台交换机需要 $\frac{1 \times 10^4 \text{ bits}}{2 \text{ Mbps}} = 5 \text{ ms}$

从第一台交换机发送第一个分组到第二台交换机需要 5ms

从源主机发送第二个分组到第一台交换机需要 5ms

第二个分组要经过 $5 \text{ ms} \times 2 = 10 \text{ ms}$ 才能被第一台交换机全部收到

c. 第一个分组经过 $5 \text{ ms} \times 3 = 15 \text{ ms}$ 到达目的主机

移动整个报文需要 $15 \text{ ms} + 799 \times 5 \text{ ms} = 4.01 \text{ s}$

进行报文分段后，传输时延大致缩短为未进行报文分段时的 $1/3$ ，传输时延明显减少

d. 进行报文分段后，如果在传输过程中出错，只需要重传相应的报文段，而不需要重传整个报文；小的报文也不会因为链路中在传输较大的报文而存在很长的排队时延

e. 分组在目的主机需要重新进行排序，且每个分组需要携带额外的首部信息