

【1-17】收发两端之间的传输距离为 1000 km，信号在媒体上的传播速率为 2×10^8 m/s。试计算以下两种情况的发送时延和传播时延：

- (1) 数据长度为 10^7 bit，数据发送速率为 100 kbit/s
- (2) 数据长度为 10^3 bit，数据发送速率为 1 Gbit/s。

从以上计算结果可得出什么结论？

解答：两种情况分别计算如下：

- (1) 发送时延为 $10^7 \text{ bit} / (100 \text{ kbit/s}) = 100 \text{ s}$ ，
传播时延为 $10^6 \text{ m} / (2 \times 10^8 \text{ m/s}) = 5 \text{ ms}$ 。
发送时延远大于传播时延。

- (2) 发送时延为 $10^3 \text{ bit} / (1 \text{ Gbit/s}) = 1 \mu\text{s}$ ，
传播时延为 5 ms。
发送时延远小于传播时延。

emmm 这里题目的 时延带宽积 这里的带宽跟数据率发送速率一样 都是kb/s这样 但是物理层的带宽W是Hz 用于 $2W \log_2 N$ (奈公式) 或者香农公式 $W \log_2(1 + S/N)$

若数据长度大而发送速率低，则在总的时延中，发送时延往往大于传播时延。但若数据长度短而发送速率高，则传播时延又可能是总时延中的主要成分。

【1-18】假设信号在媒体上的传播速率为 2.3×10^8 m/s。媒体长度 l 分别为：

- (1) 10 cm (网络接口卡)
- (2) 100 m (局域网)
- (3) 100 km (城域网)
- (4) 5000 km (广域网)

现在连续传送数据，数据率分别为 1 Mbit/s 和 10 Gbit/s。试计算每一种情况下在媒体中的比特数。(提示：媒体中的比特数实际上无法使用仪表测量。本题是假想我们能够看见媒体中正在传播的比特，能够给媒体中的比特拍个快照。媒体中的比特数取决于媒体的长度和数据率。)

解答：计算步骤如下：

先计算 10 cm (即 0.1 m) 的媒体上信号的传播时延：

$$0.1 \text{ m} / (2.3 \times 10^8 \text{ m/s}) = 4.3478 \times 10^{-10} \text{ s} \approx 4.35 \times 10^{-10} \text{ s}$$

再计算 10 cm 线路上正在传播的比特数：

$$1 \text{ Mbit/s 数据率时为：} 1 \text{ Mbit/s} \times 4.35 \times 10^{-10} \text{ s} = 4.35 \times 10^{-4} \text{ bit}$$

读者应正确理解在线路上只有 0.000435 个比特到底是什么意思。

$$10 \text{ Gbit/s 数据率时为：} 10 \text{ Gbit/s} \times 4.35 \times 10^{-10} \text{ s} = 4.35 \text{ bit}$$

对于后面的几种情况，计算方法都是一样的。把计算结果填入表 T-1-18 中。

表 T-1-18 计算结果

	媒体长度 /	传播时延	媒体中的比特数	
			数据率 = 1 Mbit/s	数据率 = 10 Gbit/s
(1)	0.1 m	$4.35 \times 10^{-10} \text{ s}$	4.35×10^{-4}	4.35
(2)	100 m	$4.35 \times 10^{-7} \text{ s}$	0.435	4.35×10^3
(3)	100 km	$4.35 \times 10^{-4} \text{ s}$	4.35×10^2	4.35×10^6
(4)	5000 km	0.0217 s	2.17×10^4	2.17×10^8

【1-19】 长度为 100 字节的应用层数据交给运输层传送, 需加上 20 字节的 TCP 首部。再交给网络层传送, 需加上 20 字节的 IP 首部。最后交给数据链路层的以太网传送, 加上首部和尾部共 18 字节。试求数据的传输效率。数据的传输效率是指发送的应用层数据除以所发送的总数据(即应用数据加上各种首部和尾部的额外开销)。

若应用层数据长度为 1000 字节, 数据的传输效率是多少?

解答: 数据长度为 100 B (B 表示字节) 时, 以太网的帧长为: $100 + 20 + 20 + 18 = 158 \text{ B}$

数据传输效率 = $100 \text{ B} / (158 \text{ B}) = 63.29\% \approx 63.3\%$

数据长度为 1000 B 时, 以太网的帧长为: $1000 + 20 + 20 + 18 = 1058 \text{ B}$

传输效率 = $1000 \text{ B} / (1058 \text{ B}) = 94.52\% \approx 94.5\%$ 。传输效率明显提高了。

【1-20】 网络体系结构为什么要采用分层次的结构? 试举出一些与分层体系结构的思想相似的日常生活的例子。

解答: 网络体系结构采用分层次的结构, 是因为“分层”可以把庞大而复杂的问题转化为若干较小的局部问题, 而这些较小的局部问题比较易于研究和处理。

在日常生活中, 经常会遇到与分层体系结构的思想相似的情况。例如, A 有一个急件要尽快地交付到远地(例如, 在美国)的友人 B。如果 A 自己买机票亲自送去, 那么这就是一个不分层的交付。

但是, 我们可以请快递公司帮我们做这件事。这样就有了两个层次, 如图 T-1-20(a)所示。

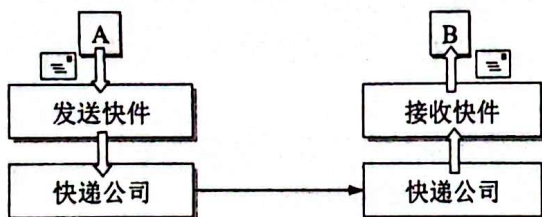


图 T-1-20(a) 两个层次的快件传送

像这样的层次划分方法并不是唯一的。我们还可以把快递公司这一层再划分得细一些。例如, 快递公司可以雇用业务员到发件人 A 的家中收取快件, 然后汇总起来交给运输部门。运输部门把快件运送到终点。快递公司同样雇用业务员把快件送到收件人 B 的家中。这种层次的划分对顾客来说完全是透明的。发件人 A 把快件交给快递公司的业务员以后, 就不用管快递公司内部的事了。A 就把业务员看成是快递公司。图 T-1-20(b)表示了这种情况。

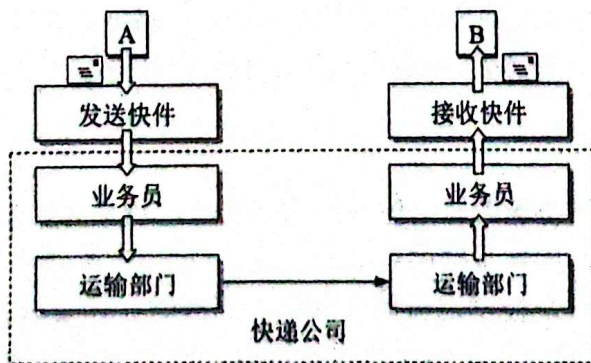


图 T-1-20(b) 三个层次的快件传送

【1-25】试举出日常生活中有关“透明”这一名词的例子。

解答：“透明”表示：某一个实际存在的事物看起来却好像不存在一样（例如，你看不见在你前面有 100%透明的玻璃存在）。“在数据链路层透明传送数据”表示无论什么样的比特组合的数据都能够通过这个数据链路层。因此，对所传送的数据来说，这些数据就“看不见”数据链路层。或者说，数据链路层对这些数据来说是透明的。

在日常生活中，打电话就是一种透明传输。假定 A 和 B 通电话。A 说，B 听。A 所发送的所有话音信号，都能够通过电话传输系统传送到 B。只要是符合电话传输标准的电话系统，B 都能听清楚 A 所说的话。

又如，银行给储户的利息是非常透明的。这就是说，根据银行的公告，储户就能够很准确地知道自己将能够获得多少利息（取决于储户存款的种类和期限）。但银行如何处理储户的存款（贷款给什么人？投资到什么地方去？），则对储户是不透明的，即储户看不见这些信息，好像被什么东西挡住了。

【1-26】试解释以下名词：协议栈、实体、对等层、协议数据单元、服务访问点、客户、服务器、客户-服务器方式。

解答：各名词含义如下。

协议栈：由于计算机网络的体系结构采用了分层结构，因此不论是在主机中还是在路由器中协议都有好几层。这些一层一层的协议画起来很像堆栈的结构，因此就把这些协议层称为协议栈。

实体：表示任何可发送或接收信息的硬件或软件进程。在许多情况下，实体就是一个特定的软件模块。

对等层：在网络体系结构中，通信双方实现同样功能的层。例如，A 向 B 发送数据，那么 A 的第 n 层和 B 的第 n 层就构成了对等层。

协议数据单元：通常记为 PDU，它是对等实体之间进行信息交换的数据单元。

服务访问点：通常记为 SAP，在同一系统中相邻两层的实体进行交互（即交换信息）的地方，通常称为服务访问点。

客户：在计算机网络中进行通信的应用进程中的服务请求方。

服务器：在计算机网络中进行通信的应用进程中的服务提供方。但在很多情况下，服务器也常指运行服务器程序的机器。

客户-服务器方式：这种方式所描述的是进程之间服务的请求方和服务的提供方的关系。服务的请求方是主动进行通信的一方，而服务器是被动接受通信的一方。系统启动后即自动调用服务器程序，并一直不断地运行着，被动地等待并接收来自各地的客户的通信请求。客户与服务器的通信关系建立后，通信可以是双向的，客户和服务器都可发送和接收数据。关于客户-服务器方式更详细的解释，见前面的 1-13 题。

【1-27】试解释 everything over IP 和 IP over everything 的含义。

解答：TCP/IP 协议可以为各式各样的应用提供服务。从协议栈来看，在 IP 层上面可以有很多应用程序。这就是 everything over IP。

另一方面, TCP/IP 协议也允许 IP 协议在各式各样的网络构成的互联网上运行。在 IP 层以上看不见下层究竟是什么样的物理网络。这就是 IP over everything。

【1-28】

假定要在网络上传送 1.5 MB 的文件。设分组长度为 1 KB, 往返时间 $RTT = 80 \text{ ms}$ 。传送数据之前还需要有建立 TCP 连接的时间, 这时间是 $2 \times RTT = 160 \text{ ms}$ 。试计算在以下几种情况下接收方收完该文件的最后一个比特所需的时间。

(1) 数据发送速率为 10 Mbit/s, 数据分组可以连续发送。

(2) 数据发送速率为 10 Mbit/s, 但每发送完一个分组后要等待一个 RTT 时间才能再发送下一个分组。

(3) 数据发送速率极快, 可以不考虑发送数据所需的时间。但规定在每一个 RTT 往返时间内只能发送 20 个分组。

(4) 数据发送速率极快, 可以不考虑发送数据所需的时间。但在第 1 个 RTT 往返时间内只能发送 1 个分组, 在第 2 个 RTT 内可发送 2 个分组, 在第 3 个 RTT 内可发送 4 个分组 (即 $2^{3-1} = 2^2 = 4$ 个分组) (这种发送方式见教材第 5 章 “TCP 的拥塞控制” 部分)。

解答: 题目的已知条件中的 $M = 2^{20} = 1048576$, $K = 2^{10} = 1024$ 。

(1) $1.5 \text{ MB} = 1.5 \times 1048576 \text{ B} = 1.5 \times 1048576 \times 8 \text{ bit} = 12582912 \text{ bit}$ 。

发送这些比特所需时间 $= 12582912 / 10^7 = 1.258 \text{ s}$

最后一个分组的传播时间还需要 $0.5 \times RTT = 40 \text{ ms}$ 。

总共需要的时间 $= 2 \times RTT + 1.258 + 0.5 \times RTT = 0.16 + 1.258 + 0.04 = 1.458 \text{ s}$ 。

(2) 需要划分的分组数 $= 1.5 \text{ MB} / 1 \text{ KB} = 1536$ 。

第一个分组以后的 1535 个分组需要等待的时间是: $1535 \times RTT = 1535 \times 0.08 = 122.8 \text{ s}$ 。

因此本题总共需要的时间 $= 1.458 + 122.8 = 124.258 \text{ s}$ 。

(3) 在每一个 RTT 往返时间内只能发送 20 个分组。1536 个分组, 需要 76 个 RTT (76 个 RTT 可以发送 $76 \times 20 = 1520$ 个分组), 最后剩下 16 个分组, 一次发送完。但最后一次发送的分组到达接收方也需要 $0.5 \times RTT$ 。

因此, 总共需要的时间 $= 76.5 \times RTT + 2 \times RTT = 6.12 + 0.16 = 6.28 \text{ s}$ 。

(4) 在两个 RTT 后就开始传送数据。1.5 MB 共需 1536 个分组来传送。

经过 n 个 RTT, 发送了 $1 + 2 + 4 + \dots + 2^{n-1} = 2^n - 1$ 个分组。

若 $n = 10$, 那么只发送了 $2^{10} - 1 = 1023$ 个分组。可见 10 个 RTT 不够。

若 $n = 11$, 那么可发送 $2^{11} - 1 = 2047$ 个分组。可见剩下的分组 (513 个分组) 都可以在 $0.5 \times RTT$ 的时间内到达接收方。

因此, 接收方收到该文件最后一个比特所需的时间 $= (2 + 10 + 0.5) \times RTT = 12.5 \times 0.08 = 1 \text{ s}$ 。

【1-29】

有一个点对点链路, 长度为 50 km。若数据在此链路上的传播速率为 $2 \times 10^8 \text{ m/s}$, 试问链路的带宽应为多少才能使传播时延和发送 100 字节的分组的发送时延一样大? 如果发送的是 512 字节长的分组, 结果又应如何?

解答: 整条链路的传播时延是 $50 \text{ km} / (2 \times 10^8 \text{ m/s}) = 250 \mu\text{s}$ 。

如果在 250 μs 把 100 字节发送完, 则发送速率应为 $800 \text{ bit} / (250 \mu\text{s}) = 3.2 \text{ Mbit/s}$ 。这也是链路带宽应有的数值。

如果改为发送 512 字节的分组, 则发送速率应为 $512 \times 8 \text{ bit} / (250 \mu\text{s}) = 16.38 \text{ Mbit/s}$ 。这也是链路带宽应有的数值。

【1-30】有一个点对点链路，长度为 20000 km。数据的发送速率是 1 kbit/s，要发送的数据有 100 bit。数据在此链路上的传播速度为 2×10^8 m/s。假定我们可以看见在线路上传输的比特，试画出我们看到的线路上的比特（画两张图，一张是在 100 bit 刚刚发送完时，另一张是再经过 0.05 s 后）。

解答：100 bit 的发送时间 = $100 \text{ bit} / (1000 \text{ bit/s}) = 0.1 \text{ s}$ 。

如图 T-1-30 所示，0.1 秒的时间可以传播 20000 km，正好是线路的长度。因此，当发送的第一个比特到达终点时，发送方也正好把 100 bit 发送完毕，整个线路上都充满了所传输的 100 bit。

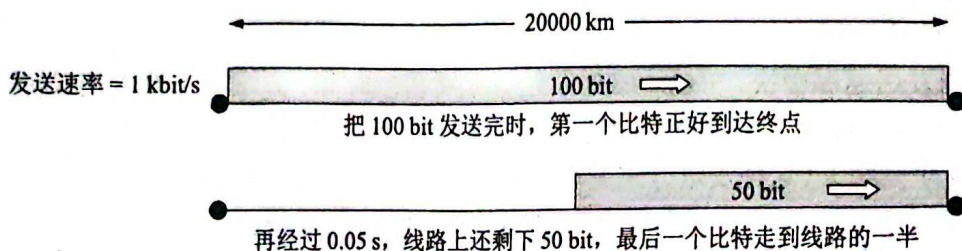


图 T-1-30 在 20000 km 长的线路上“看见”的比特，发送速率为 1 kbit/s

再经过 0.05 s 后，所有的比特都向前走了 10000 km。这就是说，发送的前 50 bit 已经到达终点了，剩下的 50 bit 还在线路上传播。最后一个比特正好走了一半（10000 km），在线路的正中间。

【1-31】条件同上题，但数据的发送速率改为 1 Mbit/s。和上题的结果相比较，你可以得出什么结论？

解答：100 bit 的发送时间 = $100 \text{ bit} / (1000000 \text{ bit/s}) = 0.0001 \text{ s}$ ，只有上一题的千分之一。

如图 T-1-31 所示，0.0001 秒的时间可以传播 20 km，只有线路长度的千分之一。因此现在整个 100 bit 都在线路靠发送端的位置（图没有按比例画）。



图 T-1-31 在 20000 km 长的线路上“看见”的比特，发送速率为 1 Mbit/s

再经过 0.05 s 后，所有的比特都向前走了 10000 km。这时，整个 100 bit 都在线路上传播。最后一个比特正好走了一半（10000 km），在线路的正中间。

和上题相比较，我们可以看出，同样是在一条线路上传送 100 bit 的数据，在较低速的线路上（例如，1 kbit/s 的发送速率），100 bit 的数据看起来像是“数据流”，而在较高速的线路上（例如，1 Mbit/s 的发送速率），100 bit 的数据看起来像是“小分组”。

【1-32】 以 1 Gbit/s 的速率发送数据。试问在以距离或时间为横坐标时，一个比特的宽度分别是多少？

解答：当我们在某一个位置上观察信号随时间的变化规律时，我们往往需要以时间为横坐标来看信号的变化。当以 1 Gbit/s 的速率发送数据时，每一个比特的持续时间是 10^{-9} s，也就是 $0.001 \mu\text{s} = 1 \text{ ns}$ (ns 表示纳秒，即 10^{-9} s)。因此，在以时间为横坐标的图上，每一个比特的宽度是 1 ns (见图 T-1-32 上面的一个)。

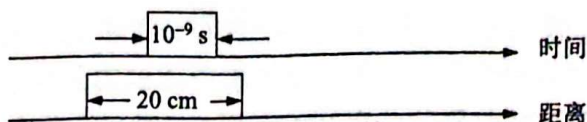


图 T-1-32 以时间或距离为横坐标时，一个比特的宽度

现在看以时间为横坐标的情况。

假定信号在线路上的传播速度是 2×10^8 m/s (即 $2/3$ 的光速)，那么在一个比特时间内 (即 10^{-9} s) 信号可以前进 20 cm。图 T-1-32 中下面的一个即表示这种情况——当时间为某一数值时信号在线路上的“快照”。请注意，这两种表示信号的方法都很有用，但这两个横坐标的量纲不同，我们不能说哪一个信号更宽一些或更窄一些。这样相比是没有意义的。

【1-33】 我们在互联网上传送数据经常是从某个源点传送到某个终点，而并非传送过去又再传送回来。那么为什么往返时间 RTT 是个很重要的性能指标呢？

解答：我们在传送数据时，经常要使用 TCP 协议。TCP 连接的建立需要消耗时间，这与 RTT 有密切关系 (在教材第 5 章中有详细讲述)。在传输数据时也常常需要对方的确认。在发送数据后要经过多少时间才能收到对方的确认，这也取决于往返时间 RTT 的大小。

另外，在计算吞吐率时，有时也要考虑到往返时间 RTT。例如，一个 10^6 字节的文件在 1 Gbit/s 的发送速率下，发送只需要 8 ms。但如果我们通过网络向远方某个主机请求把这样大的文件发送过来， $\text{RTT} = 100 \text{ ms}$ ，那么总共需要的时间至少为 $100 + 8 = 108 \text{ ms}$ ，是原来发送时间的十几倍。

【1-34】 主机 A 向主机 B 发送一个长度为 10^7 比特的报文，中间要经过两个节点交换机，即一共经过三段链路。设每段链路的传输速率为 2 Mbit/s。忽略所有的传播、处理和排队时延。

(1) 如果采用报文交换，即整个报文不分段，每台节点交换机收到整个的报文后再转发。问从主机 A 把报文传送到第一个节点交换机需要多少时间？从主机 A 把报文传送到主机 B 需要多少时间？

(2) 如果采用分组交换。报文被划分为 1000 个等长的分组 (这里忽略分组首部对本题计算的影响)，并连续发送。节点交换机能够边接收边发送。问从主机 A 把第一个分组传送到第一个节点交换机需要多少时间？从主机 A 把第一个分组传送到主机 B 需要多少时间？从主机 A 把 1000 个分组传送到主机 B 需要多少时间？

(3) 就一般情况而言，比较用整个报文来传送和划分多个分组传送的优缺点。

解答：(1) A 把报文传送到第一个节点交换机需要的时间 $= 10^7 \div (2 \times 10^6) = 5 \text{ s}$ 。

主机 A 把报文传送到主机 B 要经过 3 段链路，因此需要 $3 \times 5 = 15 \text{ s}$ 。

(2) 报文被划分为 1000 个分组, 每个分组的长度为 10000 bit。

A 发送一个分组所需的时间 $= 10^4 + (2 \times 10^6) = 0.005\text{s}$ 。这也是 A 把第一个分组传送到第一个节点交换机需要的时间。

A 把第一个分组传送到 B 需要的时间 $= 3 \times 0.005 = 0.015\text{s}$ 。

A 把 1000 个分组传送到 B 需要的时间 $= 0.015 + 999 \times 0.005 = 5.01\text{s}$ 。

(3) 一般来讲, 使用分组传送会更快些。如果整个报文存储转发, 只要其中有一个比特出错, 整个报文就必须重传, 这很浪费网络资源。使用分组交换, 只需要重传出了差错的那个分组即可。在复杂的网络中, 使用分组交换还可以使有些分组通过不太拥挤的路径传送, 这就加快了数据的传输。但在使用分组交换时, 在目的主机所收到的分组中, 只要缺少了一个, 就无法重装成原来的报文, 这就使所收到的分组都没有用处。此外, 分组首部造成的开销有时并不能忽略不计。

【1-35】主机 A 向 B 连续传送一个 600000 bit 的文件。A 和 B 之间有一条带宽为 1 Mbit/s 的链路相连, 距离为 5000 km, 在此链路上的传播速率为 $2.5 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

- (1) 链路上的比特数目的最大值是多少?
- (2) 链路上每比特的宽度 (以米来计算) 是多少?
- (3) 若想把链路上每比特的宽度变为 5000 km (即整条链路的长度), 这时应把发送速率调整到什么数值?

解答: (1) 传播时延 $=$ 链路长度 \div 传播速率 $= 5 \times 10^6 \text{ m} \div 2.5 \times 10^8 \text{ m/s} = 0.02\text{s}$ 。

时延带宽积 $= 0.02\text{s} \times 10^6 \text{ bit/s} = 2 \times 10^4 \text{ bit}$ 。

由于文件长度大于这个时延带宽积, 因此链路上的比特数目的最大值是 $2 \times 10^4 \text{ bit}$ 。

如果文件长度只有 2000 bit, 那么链路上的比特数目的最大值就是 2000 bit。

(2) 链路上每比特的宽度 $=$ 传播速率 \div 发送速率 $=$ 传播速率 \div 链路带宽
 $= 2.5 \times 10^8 \text{ m/s} \div 10^6 \text{ bit/s} = 250 \text{ m/bit}$,

即每比特的宽度为 250 m。

(3) 发送速率 $=$ 传播速率 \div 链路上每比特的宽度
 $= 2.5 \times 10^8 \text{ m/s} \div 5 \times 10^6 \text{ m/bit} = 50 \text{ bit/s}$ 。

当发送速率调整为 50 bit/s 时, 链路上每比特的宽度正好等于 5000 km。

【1-36】主机 A 到主机 B 的路径上有三段链路, 其速率分别为 2 Mbit/s, 1 Mbit/s 和 500 kbit/s。现在 A 向 B 发送一个大文件。试计算该文件传送的吞吐量。设文件长度为 10 MB, 而网络上没有其他的流量。试问该文件从 A 传送到 B 大约需要多少时间? 为什么这里只是计算大约的时间?

解答: 文件传送的吞吐量由瓶颈链路决定。因此吞吐量是 500 kbit/s。

文件长度为 10 MB。但文件长度的 M 不是 10^6 而是 2^{20} 。1 B = 8 bit。因此文件长度为 $10 \times 8 \times 2^{20} \text{ bit} = 83886080 \text{ bit}$ 。

文件传送时间 $=$ 文件长度 \div 吞吐量 $= 83886080 \div 500 \text{ kbit/s} = 167.77 \text{ s}$, 即约为 168 s。

这就是大约的传送时间, 因为有很多细节都没有考虑, 如划分为多大的分组、每个分组首部的开销, 在链路上的传播时延, 在每个节点的处理时延和排队时延, 等等。