

第三节 网络性能与体系结构（上）

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= $10^3=k$ ，兆= $10^6=M$ ，吉= $10^9=G$ ，太= $10^{12}=T$ ，...，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)；传播时延=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 $100MB / (1Mbit/s) = 8 \times 100 \times 1024 \times 1024 / (10^6) = 839.9s$ ；
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 $3.0 \times 10^8 km/s$ ，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 **RTT**=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

第三节 网络性能与体系结构（下）

一、课程目标

对应教材 1.7 内容，掌握计算机网络体系结构。

二、课程内容（本节均为重点）

1、网络协议是为数据交换建立的规则、标准或约定的统称。

网络协议三要素：语法、语义和同步。

（1）语法：数据与控制信息的结构或格式。

（2）语义：需要发出何种控制信息，完成何种动作以及做出何种响应。

（3）同步：事件实现顺序的详细说明。

2、分层是构建网络体系结构的重要实现方式。具有“层间独立”、“灵活性好”、“结构可分割”和“易于实现和维护”。类似于福特公司流水线生产的思想。

计算机网络体系结构各层需要完成的功能汇总：

（1）差错控制 使相应层次对等方的通信更加可靠。

（2）流量控制 发送端的发送速率必须使接收端来得及接收。

（3）分段和重装 发送端将要发送的数据块划分为更小的单位，在接收端将其还原。

（4）复用和分用 发送端几个高层会话复用一条低层的连接，在接收端将其还原。

（5）连接建立和释放 交换数据前先建立一条逻辑连接，数据传送结束后释放连接。

3、计算机网络体系结构是计算机网络各层及其协议的集合。

4、开放系统互连基本参考模型（Open Systems Interconnection Reference Model, OSI/RM）是由 ISO 标准化的计算机网络体系结构，是“法律”上的国际标准。由上而下分别为：应用层、表示层、会话层、传输层、网络层、数据链路层和物理层。

TCP/IP 是由 IETF 标准化的的计算机网络体系结构，是事实上的国际标准。TCP/IP 协议在一定程度上参考了 OSI 模型，将其简化为四层结构，分别为：应用层、运（传）输层、网络层和网络接口层。

本书取两种体系结构所长，按照“物理层-数据链路层-网络层-运输层-应用层”五层结构进行讲解。

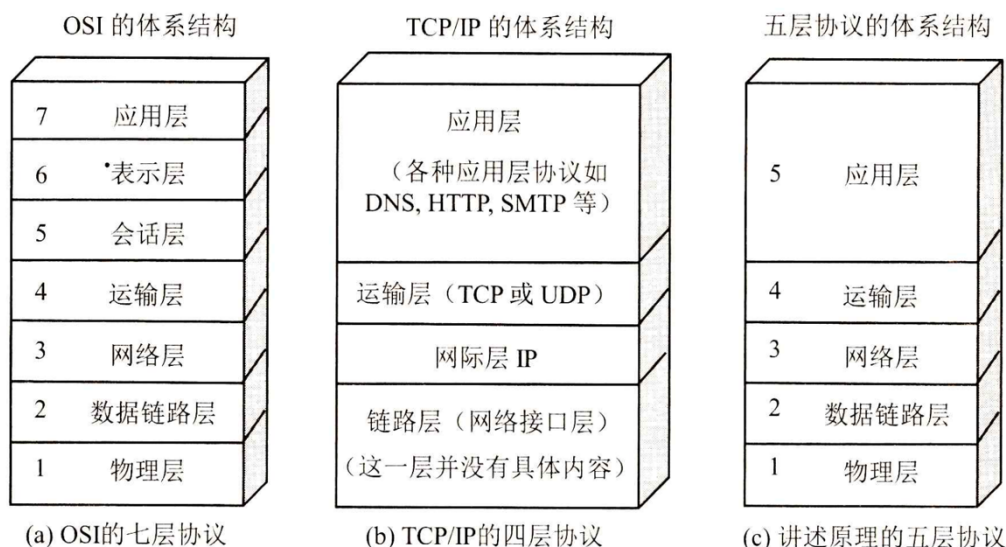


图 1-16 计算机网络体系结构

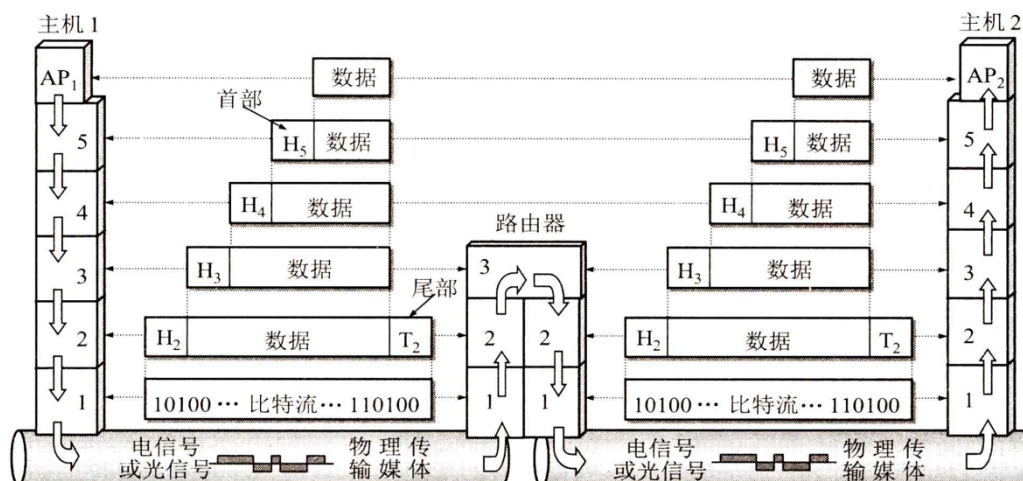


图 1-17 数据在各层之间的传递过程

5、应用层：处于体系结构中的最高层，定义应用进程间通信和交互规则，常见的应用协议包括域名系统 **DNS**、万维网 **HTTP** 协议、电子邮件 **SMTP** 协议等，本次数据单元称为报文（**Message**）。

6、运输层：为应用层提供通用的数据传输服务，需要通过复用和分用支持应用层多个进程。常用两种协议包括传输控制协议 **TCP** 和用户数据报协议 **UDP**。

(1) TCP：提供面向连接的、可靠的数据传输服务，其数据传输单位是报文段（**Segment**）。

(2) UDP：提供无连接的尽最大努力（**best-effort**）的数据传输服务，不保证数据可靠性，其数据传输单位是用户数据报。

7、网络层：为分组交换网上不同主机提供通信服务，在发送数据时，网络层把运输层产生的报文段或用户数据报封装成分组或包进行传送。分组也叫 **IP** 数据报（又称分组，**Packet**）。

8、数据链路层：将网络层交下来的 **IP** 数据报组装成帧（**Frame**），以帧的形式在相邻结点的链路上传送数据。其中每帧包括数据和必要的控制信息（同

步、地址、差错控制)。

9、物理层：在物理层上传输数据的单位是 **bit**。物理层要考虑用多大的电压代表“1”或“0”，以及接收方如何识别出发送方所发送的 **bit**。物理层还要确定连接电缆的插头应当有多少根引脚以及各引脚应当如何连接。

10、实体、协议、服务和服务访问点

实体 (**Entity**) 表示可以发送或接收信息的硬件或软件进程。

协议 (**Protocol**) 是控制两个对等实体 (或多个实体) 进行通信的规则的组合。

服务 (**Service**) 是本层实体向上层实体提供的功能的集合。

服务访问点 (**Service Access Point**) 指提供服务的逻辑接口 (又名层间接口)。

补充：原语 (**Primitive**) 一般是指由若干条指令组成的程序段，用来实现某个特定功能，在执行过程中不可被中断。

三、重点习题

P39: 1-24、1-26、1-30、1-33、1-34、1-35