

Overall

网络实例

网络分类

- 个域网PAN(Person Area Network)
 - 范围一般在10米半径以内，如蓝牙耳机
- 局域网LAN (Local Area Network)
 - 局部地区形成的区域网络，如企业网络
 - 电脑WLAN接入，打印机等等
- 城域网MAN (Metropolitan Area Network)
- 广域网WAN (Wide Area Network)
 - 覆盖范围很大，乃至整个地区或国家

Internet 和 internet 区别

互联网（Internet）	互连网（internet）
相似之处	
网络的网络 （这种类型的一个具体实例）	网络的网络 （泛指这种类型）
不同之处	
特指遵循 TCP/IP 标准、利用路由器将各种计算机网络互连起来而形成的、覆盖全球的、特定的互连网	泛指由多个不同类型计算机网络互连而成的网络
使用 TCP/IP	除 TCP/IP 外，还可以使用其他协议
是一个专用名词	是一个通用名词

互联网构成

- 网络边缘
 - 端系统：位于互联网边缘与互联网相连的计算机和其他设备
 - 端系统是互联网通信的起点和终点

- 端系统由各类主机构成，包括个人计算机（如台式机和笔记本电脑）、智能手机、平板电脑、服务器和其他网络连接的设备
- 网络核心
 - 由互联网系统的**分组交换设备**和**通信链路**构成的网状网络
 - 分组交换（路由器、链路层交换机）
 - 通信链路（光纤、铜缆、无线电、激光链路）

分组交换设备：在计算机网络中用于传输数据的网络设备。它将数据划分为较小的数据包（也称为分组），并根据目标地址将这些数据包从源设备传输到目标设备。常见的分组交换设备包括路由器和交换机。

路由器：用于在不同的网络之间转发数据包。它根据数据包的目标地址，使用路由表和路由选择算法确定最佳路径，并将数据包转发到下一个网络节点，直到到达目标设备。

交换机：交换机是一种分组交换设备，用于在局域网（LAN）内传输数据包。它根据数据包的目标MAC地址，将数据包从源设备转发到目标设备。交换机在局域网中提供高速、低延迟的数据传输，支持多个设备之间的并行通信。

接入网

接入网（Access Network）是指将终端用户连接到互联网或其他广域网络的网络部分。

- 接入网目标：将主机连接到边缘路由器上。
- **边缘路由器**是端系统 `Host` 去往任何其他远程端系统的路径上的第一台路由器

物理介质

- 传输单元：bit
 - bit是在发射机和接收机之间的物理介质上传播的数据的最小单元
- 物理媒体：即发射机与接收机之前的具体的链路介质
 - 引导型介质：信号在固体介质中传播，例如铜、光纤、同轴电缆
 - 非引导型介质：信号自由传播，例如无线电（陆地无线电、卫星无线电信道）

存储常用字节 Byte

K/M/G 层级为 2^{10} 进制

传输常用比特 Bit

K/M/G 层级为 10^3 进制

1B = 8b

网络核心

- 目标：将海量的端系统互联起来
- 由各类交换机（路由器）和链路构成的网状网络

两大功能

功能 1：路由 (Routing)

- **全局操作**：确定数据分组从源到目标所使用的路径
- 需要路由协议和路由算法，**产生路由表**

功能 2：转发 (Forwarding)

- **本地操作**：路由器或交换机将接收到的数据分组转发出去（即移动到该设备的某个输出接口）
- 确定转发出去的接口 / 链路：根据从“入接口”收到分组头中的目的地址，查找本地**路由表**，确定“出接口”

交换类型

- 电路交换 (circuit switching)
 - 电路交换通常采用面向连接方式
 - 先呼叫建立连接，实现端到端的资源预留
 - 预留的资源包括：链路带宽资源、交换机的交换能力
 - 电路交换连接建立后，物理通路被通信双方独占，**资源专用**，即使空闲也不与其他连接共享，通信路径在通话期间一直保持稳定，为通信双方提供**专用的、连续的**通信通道。
 - 由于建立连接并预留资源，因此传输性能好；但如果传输中发生设备故障，则传输被中断

在电路交换中，每个通话需要独占一条物理通路，但通信网络中的物理资源是有限的。为了更有效地利用这些资源，**多路复用技术**被引入，允许多个通话共享同一条物理通路。

1. 频分多路复用 (Frequency Division Multiplexing, FDM)：在频分多路复用中，物理通路的频谱被划分为不同的频带，每个频带用于传输一个通话的数据。每个通话使用不同的频带进行数据传输，因此多个通话可以同时在不同的频带上进行传输，共享同一条物理通路。
2. 时分多路复用 (Time Division Multiplexing, TDM)：在时分多路复用中，物理通路的时间被划分为若干个时隙 (time slot)，每个时隙用于传输一个通话的数据。多个通话按照预定的顺序轮流使用时隙，每个通话只在分配给它的时隙中传输数据。这样，通过时间的划分，多个通话可以共享同一条物理通路。

- 存储转发的报文交换 (Store-and-Forward Packet Switching)
 - 存储&转发 - 路由器需要接收到完整的整个数据报文后，才能开始向下一跳发送
 - 存储转发带来报文的传输延迟
 - 将L位数据报文，以R bps的速率，发送到链路中：需要L/R秒
- 分组交换 (packet switching)
 - 将大报文拆分成多个小分组
 - 通信双方以分组为单位、使用存储转发机制，实现数据交互的通信方式

- 以分组作为数据传输单元，**每个分组的首部都含有地址**（目的地址和源地址）等控制信息
- 每个分组在互联网中独立地选择传输路径
- 支持灵活的统计多路复用

分组交换适合有大量**突发数据（burst）**传输需求的网络

三种交换方式的比较：

1. 电路交换需要建立连接并预留资源，难以实现灵活复用
2. 报文交换和分组交换较灵活，抗毁性高，在传送突发数据时可提高网络利用率
3. 由于分组长度小于报文长度，分组交换比报文交换的时延小，也具有更好的灵活性，但附加信息开销更大

协议与分层结构

网络协议

- 为进行网络中的数据交换而建立的规则、标准或约定，即网络协议 (network protocol)
- 通信双方需要共同遵守，互相理解

三要素

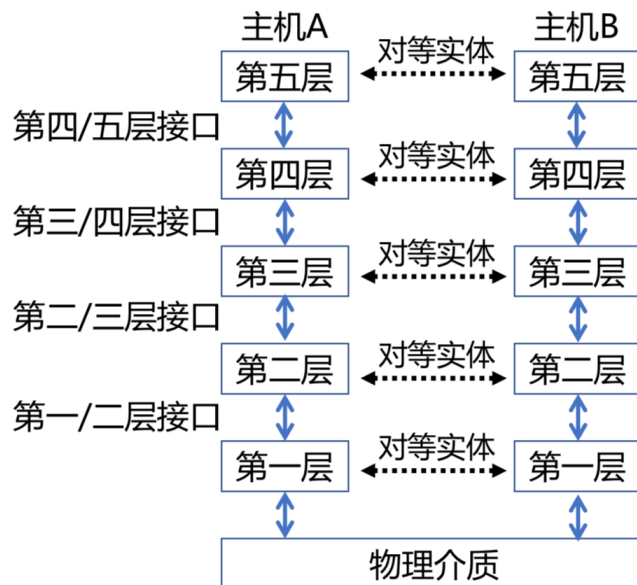
- 语法：规定传输数据的格式（如何讲）
- 语义：规定所要完成的功能（讲什么）
- 时序：规定各种操作的顺序（双方讲话的顺序）

协议分层结构的必要性：

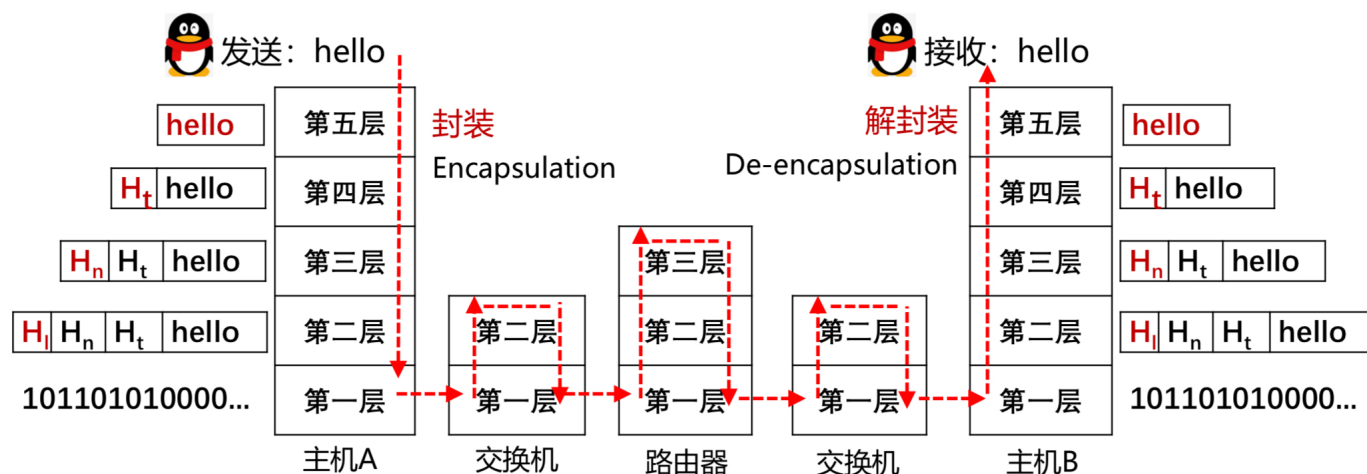
- 分层结构：明晰简化，便于分析学习
- 模块独立：各层独立，加速技术演进
- 统一标准：确保技术互通

协议分层结构

- 层次栈（Protocol stack）- 为降低网络设计的复杂性，网络使用层次结构的协议栈，每一层都使用其下一层所提供的服务，并为上层提供自己的服务
- 对等实体 (Peer) - 不同机器上构成相应层次的实体成为对等实体
- 接口 (Interface) - 在每一对相邻层次之间的是接口，其定义了下层向上层提供哪些服务原语
- 网络体系结构 (Network infrastructure) - 层和协议的集合为网络体系结构，一个特定的系统所使用的一组协议，即每层的协议，称为协议栈



发送端层层封装，接收段层层解封



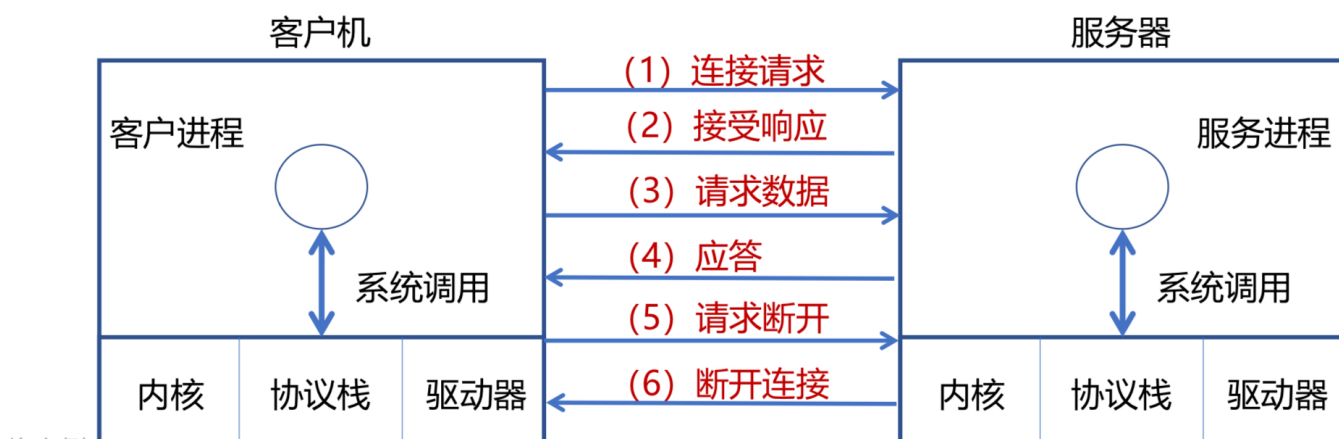
服务

- 典型服务：面向连接传输服务，无连接传输服务
- 服务由一组可用于用户进程以访问服务的原语（操作）形式指定
- 原语告诉服务执行某些操作或报告对等实体所采取的操作

两种不同类型的服务：

- **面向连接** - 类似于同步机制，需要双方建立连接，每个“请求”或“响应”后，都在对方产生一个“指示”或“确认”动作
 - Connection-oriented service, 以电话系统为模型
- **无连接** - 类似于异步机制，传输过程不需要应答
 - connectionless service, 以邮政系统为模型

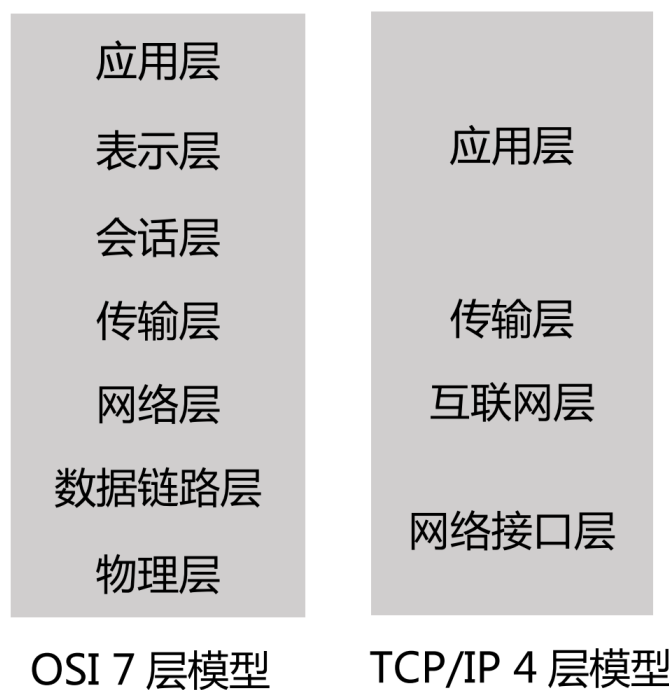
➤六个核心服务原语（以面向连接服务为例）



服务与协议的关系

- 协议是“水平”的，服务是“垂直”的
- 实体使用协议来实现其定义的服务
- 上层实体通过接口使用下层实体的服务

参考模型



OSI在网络层支持无连接和面向连接，在传输层仅面向连接；TCP/IP在网络层无连接，传输层无连接/面向连接都有一些名称：

- 比特流 (bit)：物理层/一层。
- 数据帧 (frame)：数据链路层/二层。
- 数据包/报文分组 (packet)：网络层/三层。
- 数据报 (datagram)：传输层 UDP/四层。

- 数据段 (segment) : 传输层 TCP/四层。
- 消息/报文 (message) : 三层以上, 通常指应用层/七层。

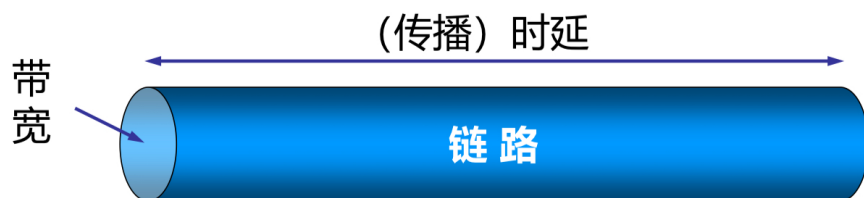
计算机网络度量单位

- **比特率 (bit rate)**
 - 主机在数字信道上传送数据的速率, 也称数据率
 - 比特率的单位为b/s, 也称bps, 或kbit/s,Mbit/s,Gbit/s等
- **带宽**: 网络中某通道传送数据的能力, 即单位时间内网络中的某信道所能通过的“最高数据率”
 - 单位是 bit/s
- **包转发率 (PPS)** - 全称是 Packet Per Second, 表示交换机或路由器等网络设备以包为单位的转发速率
 - 线速转发: 交换机端口在满负载的情况下, 对帧进行转发时能够达到该端口线路的最高速度
- **时延 (delay & latency)** - 是指数据 (一个报文或分组) 从网络 (或链路) 的一端传送到另一端所需的时间, 也称为延迟, 包括:
 - **传输时延 (transmission delay)** - 数据从结点进入到传输媒体所需要的时间, 传输时延又称为**发送时延**
 - **传播时延 (propagation delay)** - 电磁波在信道中需要传播一定距离而花费的时间
 - **处理时延 (processing delay)** - 主机或路由器在收到分组时, 为处理分组 (例如分析首部、提取数据、差错检验或查找路由) 各层协议的基本工作原理及所花费的时间
 - **排队时延 (queueing delay)** - 分组在路由器输入输出队列中排队等待处理所经历的时延

$$d_{trans} = \frac{Length(bit)}{R(bit/s)} // transmission_delay \quad (1)$$

$$d_{prop} = \frac{Distance(m)}{c(m/s)} // propagation_delay \quad (2)$$

- **往返时延 RTT(Round-Trip Time)** - 从发送方发送数据开始, 到发送方收到来自接收方的确认, 经历的总时间
 - 可用于判断网络的通断性、测试网络时延、计算数据包丢失率等(ping命令)
- **时延带宽积 (Delay-Bandwidth Product) = 传播时延 * 带宽**, 即按比特计数的链路长度
 - 若发送端连续发送数据, 则在发送的第一个 bit 即将达到终点时, 发送端就已经发送了**时延带宽积**个 bit, 而这些 bit 都在链路上向前移动, 较大的时延带宽积意味着在网络中有更多的比特数等待传输或处理。



链路像一条空心管道

只有在代表链路的管道都充满比特时，
链路才得到了充分利用

举例
传播时延为20ms，
带宽为10Mb/s，则：
时延带宽积
 $= 20/1000 \times 10 \times 10^6$
 $= 2 \times 10^5 \text{ bit}$

72

- 吞吐量 (throughout)

- 单位时间内通过某个网络（或信口、接口）的数据量，单位是b/s

- 有效吞吐量 (goodput)

- 单位时间内，目的地正确接收到的有用信息的数目（以 bit 为单位）

- 利用率

- 信道利用率指出某信道有百分之几的时间是被利用的，指发送方在一个发送周期的时间内，有效地发送数据所需要的时间占整个发送周期的比率

例如，发送方从开始发送数据到收到第一个ACK帧为止，称为一个发送周期T，发送方在这个周期内共发送L bits数据，数据传输率为C，则发送方用于发送有效数据的时间为L/C，信道利用率为 (L/C)/T

数据传输率是数据从结点进入到传输媒体的速率

- 网络利用率则是全网络的信道利用率的加权平均值

- 时延抖动 - 变化的时延称为抖动 (Jitter)

- 时延抖动起源于网络中的队列或缓冲，抖动难以精确预测
- 在语音、视频多媒体业务中，抖动往往会严重影响用户的体验

- 延迟丢包

- 在多媒体应用中，由于数据包延迟到达，在接收端需要丢弃失去使用价值的包