# 第一章 概论

### 网络的作用

“三网”指的是：电信网络、有线网络和计算机网络

计算机向用户提供的两个重要功能是：连通性、共享

### 因特网概述

网络由若干结点（node）和连接这些结点的链路（link）组成

网络把许多计算机连接到一起，而因特网把许多网络连接在一起

因特网发展的三个阶段：第一阶段是单个网络ARPANET向互联网发展；第二阶段建成了三级结构的因特网(主干网、地区网、校园网)；第三阶段是逐渐形成了多层次ISP结构的因特网。

ISP为因特网提供商，NAP为网络接入点

### 因特网的组成

**边缘部分：用户直接使用**，主机A和主机B进行通信，实质是运行在主机A的某个程序和运行在主机上的某个程序进行通信

**核心部分：为边缘部分提供服务（提供连通性和交换）**

### 通信方式

**客户服务器方式（C/S）对等方式（P2P）**

C/S方式中：客户是服务请求方，服务器是服务提供方

P2P方式中：对等连接中的每一个主机既是客户又是服务器

### 路由器是实现分组交换的关键构建，其任务是转发收到的分组

路由器作用：网络连接、路由选择、设备管理

### 电路交换过程：建立连接——通话——释放连接

在通话的全部时间内，通话的两个用户始终占用端到端的通信资源

### 分组交换的特点

分组交换采用存储转发技术：通常把发送的整块数据成为一个报文，在每一段信息前面加上首部，构成了一个分组（包）。

**优点：**高效、灵活、迅速、可靠。**问题：**时延。

电路交换（从源点直达终点，如同管道中传输）、报文交换（先到达相邻结点，然后查找转发表，转发到下一个结点）、分组交换（单个分组（只是报文的一部分）然后进行报交换）的主要特点P15

### 几种不同类别的网络

不同范围分类：WAN广域网，MAN城域网，LAN局域网，PAN个人区域网，WPAN无线个人区域网

不同使用者分类：公共网，专用网

### 计算机网络的性能

**速率**：单位比特（bit）

**带宽**：（计算机中定义）通信线路所能传送数据的能力，单位时间内容网络中的某一点到另一点所能通过的“最高数据率”，单位比特每秒b/s

**吞吐量**：单位时间内通过某个网络（或信道接口）的数据量，可用每秒传送的字节数或帧数来表示

**时延：数据从网络的一端传送到另一端所需要的时间**

**发送时延** 主机或路由器发送数据帧所需时间 发送时延=数据帧长度/发送速率

提高数据的发送速率可以减少发送延时

**传播时延** 电磁波在信道中传播一定的距离所需时间

传播时延=信道长度/电磁波信道中传送的速度

**处理延时** 主机或路由器在收到分组数据后花费一定时间处理的时间

**排队延时** 经过许多路由器分组数据排队等候的时间

**总延时=发送延时+传播延时+处理延时+排队延时**

**时延带宽积**=传播时延×带宽 又称以比特为单位的链路长度

**往返时间RTI**

利用率=1-（网络空闲时的时延/网络当前的时延）

信道或网络利用过高会产生较大延时

### 网络的非性能特征

费用、质量、标准化、可靠性、可扩展性和升级性、易于管理维护

### 计算机网络体系结构：计算机网络的各层及其协议的集合

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

### 网络协议三要素

语法：数据与控制系统的结构或格式

语义：需要发出何种控制信息，完成何种操作，作出何种响应

同步：事件实现顺序的详细说明

### 网络结构分层的好处

各层之间相互独立 灵活性好 结构上可分割开 易于实现和维护 能促进标准化工作

### 网络体系结构

OSI的七层体系结构

应用层、表示层、会话层、运输层、网络层、数据链路层、物理层

TCP/IP：应用层、运输层、网际层、网络接口层。

TCP/IP协议可以为各式各样的应用提供服务（everything over IP），同时TCP/IP协议允许IP协议在各式各样的网络构成的互联网上运行（IP over everything）

五层协议体系结构：应用层、运输层、网络层、数据链路层、物理层 **加粗字为传输单元**

应用层：是体系结构的最高层，确定**进程数据**之间通信的性质以满足用户的需要

运输层：负责主机两个进程之间**数据报（报文）**的通信数

网络层：通过**IP数据报**为分组交换网上不同主机提供通信

数据链路层：网络层交下来的IP数据报组装成帧在两个相邻节点的链路上传送以**帧**为单位的数据

物理层：透明的传送**比特流**

# 第二章 物理层

### 信号的分类

信号（signal）是数据的电气或电磁表现（数据是运送消息的实体）

模拟信号（连续信号） 消息的参数的取值是连续的

数字信号（离散信号） 消息的参数的取值是离散的

### 数据通信系统的模型

三大部分：源系统（发送端/方） 传输系统（传输网络） 目的系统（接收端/方）

### 信道概念

信道三种方式：单向通信（单工） 双向交替通信（半双工） 双向同时通信（全双工）

**基带信号：**来自信源的信号

代表不同离散数值的基本波形称为**码元**

**基带调制**：只对基带信号波形进行变换

**带通调制**：使用载波信号调整（调幅AM 调频FM 调相PM 正交振幅调制QAM）

**奈氏准则**：每赫带宽的理想低通信道的最高码元传输速率（=2WBaud）是每秒2个码元

若码元传输速率超过此值会出现码元之间的相互干扰，在接受端无法判断发送的码元是1还是0任何信道中，码元传输速率是有上限的，超过此上限会出现严重的码间串扰，使接收端对码元的识别成为不可能。

**信噪比：信号的平均功率和噪声的平均功率之比**

信噪比（dB）=10log10(S/N)（dB）

**香农公式 C=W10log2(1+S/N)（b/s）（C为信息的极限传输速率）**

**信道的带宽或信道中的信噪比越大，信息的极限传输速率就越高**

**提高信息的极限传输速率的方式：增大频带宽度，提高信噪比，让每一个码元携带更多比特的信息量**

### 物理层下面的传输媒体

导向传输媒体：双绞线（电话线） 同轴电缆（闭路电视线）光缆

非导向传输媒体：

短波通信（高频，HF）通信质量较差

无线电微波通信（地面微波接力通信：【优点】频率高频段宽，信道的容量大，传输质量高，投资少见效快【缺点】相邻站之间必须直线，不能有障碍物，受天气影响，隐蔽性保密性差，使用维护费高；卫星通信：通信距离远，较大的传播延时，保密性较差）

### 信道复用技术

频分复用FDM：所有用户在同样的时间占用不同的带宽资源

时分复用TDM：所有用户在不同的时间占用同样的频带宽度

统计时分复用STDM（Statistic TDM）：是一种改进的时分复用，它能明显的提高信道的利用率

波分复用WDM：光的频分复用

**码分复用CDM：（常用码分多址CDMA）每个用户可以在同样的时间使用同样的频带进行通信，由于各用户使用经过特殊挑选的不同码型，因此各用户之间不会造成干扰（手机选号）优点：有很强的抗干扰能力，其频谱类似于白噪声，不易被发现**

### 信号（模拟、数字）和数据（模拟、数字）之间转换的四种情况：

模拟数据---------------------放大器、调制器---------------------模拟信号

模拟数据---------------------PCM编码器--------------------------数字信号

数字数据---------------------调制器---------------------------------模拟信号

数字数据---------------------数字发送器---------------------------数字信号

### 宽带接入方式

xDSL：ADSL（非对称数字用户线）DSL（数字用户线）

FTTx：FTTH (光纤到家) FTTB (光纤到大楼) FTTC (光纤到路边)

# 第三章 数据链路层

### 数据链路层使用的信道

点对点信道：这种信道使用一对一的点对点通信方式（常用点对点协议PPP）

广播信道：这种信道使用一对多的广播通信方式，因此过程比较复杂。广播信道上连接的主机很多，因此必须使用专用的共享信道协议来协调这些主机的数据发

### 数据链路和帧

链路：是一条无源的点到点的物理线路段，中间没有任何其他的交换结点

数据链路：把实现这些协议（协议用来控制数据传输）的硬件和软件加到链路上，就构成了数据链路

数据链路层把网络层交下来的数据构成（封装）**帧**发生到链路上以及把接收到的帧中的数据取出并上交给网络层

### 封装成帧 透明传输 差错检测（数据链路层协议的三个共有基本问题）

封装成帧：在一段数据的前后分别添加首部和尾部，然后就构成了一个帧

帧长=数据部分的长度加上帧首部和帧尾部的长度≤最大传送单元MTU=1500字节

SOH（Start of header）EOT（End of transmission）

透明传输：SOH和EOT都是特别指明的控制字符，不管从键盘上输入什么字符都可以放在帧中传输 若数据中有和SOH或EOT相同的控制字符，造成边界判断错误

解决办法字节（字符）填充：发送端的数据链路层在数据中出现控制字符SOH或EOT的前面插入一个转义字符ESC（其十六进制编码是1B）

差错检测

误码率BER：在一段时间内，传输错误的比特占所传输比特总数的比率，提供信噪比可减小BER

循环冗余检验CRC技术≠帧检验序列FCS（在数据后面添加上的冗余码）

### PPP 协议的特点

PPP协议要点：最广泛使用的数据链路层协议、面向字节、PPP帧的长度是整数个字节、只支持全双工、PPP协议是不可靠传输协议

PPP协议是用户计算机和ISP进行通信时所使用的数据链路层协议

*PPP协议应满足 简单（首要要求）封装成帧 透明性 多种网络层协议 多种类型链路 差错检测 检测连接状态 最大传送单元 网络层地址协商 数据压缩协商 的要求*

*PPP协议不需要 纠错 流量控制 序号 多点线路 半双工或单工链路 的功能*

**PPP协议的组成**：一个将IP数据报封装到串行链路的方法 链路控制协议LCP 网络控制协议NCP

### PPP 协议的帧

首部4个字段，尾部2个字段

0X7E为PPP帧的定界符，连续两个帧之间只需一个标志字段

PPP协议：使用异步传输时使用字节填充；或使用SONET/SDH链路进行同步传输时使用零比特率填充方式：*只要发现有 5 个连续 1，则立即填入一个 0。接收端对帧中的比特流进行扫描。每当发现 5 个连续1时，就把这 5 个连续 1 后的一个 0 删除。*

### 局域网的数据链路层

局域网的拓扑结构：星形网 环形网 总线网 树形网

局域网的特点：网络为一个单位所有，且地理范围和站点数目有限

为了使数据链路层能更好地适应多种局域网标准，局域网的数据链路层被拆成两个子层：

逻辑链路控制LLC子层：与传输媒体无关，不管采用何种协议的局域网对LLC子层来说都是透明的

媒体接入控制MAC子层：接入到传输媒体有关的内容都放在 MAC子层

### 适配器（网卡）

功能：进行串/并行转换 对数据进行缓存 在计算机的操作系统安装设备驱动程序 实现以太网协议

### 为通信简便采用以下措施

1.采用较为灵活的无连接的工作方式，即不必先建立连接就可以直接发送数据；以太网对发送的数据帧不进行编号，也不要求对方发回确认

2.以太网发送的数据都使用曼彻斯特(Manchester)编码

曼彻斯特编码：方便把一连串的1或0分离；编码方式：1前高后低0前低后高（或相反）

### CSMA/CD（载波监听多点接入/碰撞检测）协议

**多点接入**：表示许多计算机以多点接入的方式连接在一根总线上

**载波监听**：是指每一个站在发送数据之前先要检测一下总线上是否有其他计算机在发送数据，如果有则暂时不要发送数据，以免发生碰撞

**碰撞检测**：计算机边发数据边检测信道上的信号电压的大小。当一个站检测到信号电压摆动值超过一定门限值，就认为总线上至少两个站同时在发送数据，表明产生碰撞

### CSMA/CD协议的特性

**使用CSMA/CD协议的以太网只能进行双向交替通信**

**每个站在发送数据之后的一小段时间内，存在着遭遇碰撞的可能性**

**这种发送的不确定性使整个以太网的平均通信量远小于以太网的最高数据率**

### CSMA/CD协议的工作过程

1.适配器从网络层获得一个分组，加上以太网的首部和微博，组成以太网帧，放入适配器的缓存中，准备发送

2.若适配器检查到信道空闲（即在96比特时间*2τ=2×21.2μs*内没有检查到信道上的信号），就发生这个帧，若检测到信道忙，则继续检测并等待信道转为空闲（加上96比特时间），然后发送这个帧

3.在发送过程中继续检测信道，若一直未检测到碰撞，就顺利把这个帧成功发送完毕。若检测到碰撞，则中止数据的发送，并发送人为干扰信号

4.在中止发送后，适配器就执行指数退避算法，等待r倍512比特时间后，返回到步骤2

### 以太网的MAC层

在局域网中，硬件地址又称为物理地址，或MAC地址

单播(unicast)帧（一对一）：收到帧的MAC地址与本站的硬件地址相同

广播(broadcast)帧（一对全体）：发送给所有站点的帧

多播(multicast)帧（一对多）：发送给一部分站点的帧

### 无效的 MAC 帧

帧的长度不是整数个字节；用收到的FCS查出有差错；数据字段长度不在 46 ~ 1500字节之间

### 扩展以太网

网桥和集线器（或转发器）不同: 集线器在转发帧时，不对传输媒体进行检测；网桥在转发帧之前必须执行 CSMA/CD 算法，若在发送过程中出现碰撞，就必须停止发送和进行退避

透明网桥（一种即插急用的设备）：局域网上的站点并不知道所发送的帧将经过哪几个网桥

以太网交换机：多接口网桥，可以方便的实现VLAN（虚拟局域网）

# 第四章 网络层

### 网络层的两种服务

虚电路服务：电话

**数据报服务（选用）**：网络层向上只提供简单灵活的，无连接的，尽量大努力交付的数据报服务，不提供服务质量的承诺。对于可靠性由运输层负责

### 网际协议IP（配套有 ARP RARP ICMP IGMP）

网络层是为主机之间提供逻辑通信

### 网络互相连接需要中间设备（中间设备又称为中间系统或中继(relay)系统）

物理层中继系统：转发器(repeater)

数据链路层中继系统：网桥或桥接器(bridge)

网络层中继系统：路由器(router)

网桥和路由器的混合物：桥路器(brouter)

网络层以上的中继系统：网关(gateway)

### 虚拟互联网络

即逻辑互连网络，它的意思就是互连起来的各种物理网络的异构性本来是客观存在的，但是我们利用 IP 协议就可以使这些性能各异的网络从用户看起来好像是一个统一的网络

### 分类的IP地址

IP地址::=={<网络号>,<主机号>}

A类地址：<0\*\*\* \*\*\*\*>,<\*\*\*\* \*\*\*\* \*\*\*\* \*\*\*\* \*\*\*\* \*\*\*\*> <1.\*.\*.\*~126.\*.\*.\*>

说明：网络号有126（27-2）个，0.0.0.0表this，127表回环测试；主机号数224-2

B类地址：<10\*\* \*\*\*\* \*\*\*\* \*\*\*\*>,<\*\*\*\* \*\*\*\* \*\*\*\* \*\*\*\*> <128.1.\*.\*~191.255.\*.\*>

说明：网络号有16383（214-1）个，128.0.0.0不指派；主机号数216-2

C类地址：<110\* \*\*\*\* \*\*\*\* \*\*\*\* \*\*\*\* \*\*\*\*>,<\*\*\*\* \*\*\*\*> <192.0.1\*.\*~233.255.255.\*>

说明：网络号有2097151（221-1）个，192.0.0.0不指派；主机号数28-2

D类地址：<1110 多播地址>

E类地址：<1111 保留使用>

### IP地址与硬件地址（硬件固化在网卡中可称为物理地址或MAC地址）

物理地址（在MAC帧首部；RARP——>IP地址；）：数据链路层和物理层使用的地址

IP地址（在IP数据报首部；ARP—>物理地址；）：网络层和以上各层使用的地址，是一种逻辑地址

### 地址解析ARP协议

ARP高速缓存中有**本局域网上**的各主机和路由器的IP地址到硬件地址的映射表

### IP数据报（首部+数据部分）的格式

版本：4位，表明版本号；首部长度：4位；区分服务：8位；**总长度**：16位，最大长度216-1=65535；标识：16位，当数据报长度超过MTU分片是，相同标识可以使数据报正确的组装；标志：3位，MF=1还有分片，MF=0若干分片最后一个，DF不能分片，DF=0时允许分片；片偏移：13位；生存时间：8位，TTL；协议：8位；首部检验和：16位；源地址：32位；目的地址：32位

IP首部可变，从1个字节到40个字节不等

### IP层转发分组

路由表中的信息（目的网络地址，下一跳地址）

路由器的**默认路由**模式

### 划分子网

三级IP地址::={<网络号>,<子网号>,<主机号>}

划分子网只是把IP地址的主机号host-id这部分进行再划分，而不改变IP地址原来的网络号

举例{145.13.3.10, 145.13.3.11, 145.13.7.15, 145.13.7.45}B类地址的二级IP地址

{{145.13.3.10, 145.13.3.11}，{ 145.13.7.15, 145.13.7.45}}三级IP地址网络

**子网掩码**

**默认子网掩码：**A类255.0.0.0 B类255.255.0.0 C类255.255.255.0

常用B类地址的子网掩码划分的子网个数

255.255.192.0/2个 255.255.224.0 /6个 255.255.240.0 /14个

把子网掩码和IP地址进行逐位相与即可得到网络地址

已知IP地址是141.14.72.24，子网掩码是255.255.192.0求网络地址：141.14.64.0

### 构造超网（无分类编址CIDR）

IP地址:=={<网络前缀（指明主机）>,<主机号>}

CIDR记法，在IP地址后加上斜线“/”，然后写上网络前缀占用的位数

举例I P 地址128.14.35.7/20=**10000000 00001110 0010**0011 00000111

最小地址128.14.32.0 = **10000000 00001110 0010**0000 00000000

最大地址 128.14.47.255 = **10000000 00001110 00101111 11111111**

CIDR简化记法

举例地址块10.0.0.0/10可简写为10/10，即把点分十进制中低位连续的0省略

另一种形式00001010 00\* 星号\*之前是网络前缀，星号\*表示IP地址中的主机号

举例将地址128.14.36.0/20可简写为128.14.**32**/20

说明：先求出网络的最小地址，然后进行简化

举例如何构造超网形式将一个网段202.202.0.0，分给6个部门。

254个主机号分个6个部门，每个部门可分到42个。因26>42>25所以，网络前缀占的位数为32-5=27，所以可以按如下方式分配

202.202.0.0/27 202.202.0.32/27 202.202.0.64/27

202.202.0.96/27 202.202.0.128/27 202.202.0.160/27

### 最长匹配前缀

在多个下一跳地址时，应当从匹配结果中选择具有最长网络前缀的路由

### 路由器作用

进行路由选择 进行分组转发

路由选择部分 路由选择处理机

分组转发部分 包括交换结构、输入接口、输出接口

### IP多播 多播地址只能用于目的地址，不能用于源地址

### 虚拟专用网VPN和网络地址转换NAT

# 第五章 运输层

### 运输层协议概述

运输层向它上面的应用层提供通信服务，它属于面向通信部分的最高层，面向用户的最底层

端到端的通信是应用进程之间的通信

运输层为应用进程之间提供端到端的逻辑通信

### TCP（传输控制）协议

运输协议数据单元：TCP报文段

TCP是提供面向连接的服务，既使下面的网络是不可靠但TCP建立的是一条**全双工的可靠信道**

应用层协议使用TCP协议的有：SMTP HTTP FTP TELNET

特点：TCP 是面向连接的运输层协议；每一条TCP连接只能有两个端点(endpoint)，每一条 TCP 连接只能是**点对点的（一对一）**；TCP 提供可靠交付的服务；TCP 提供全双工通信；面向字节流。

### TCP可靠传输的实现

停止等待协议P191

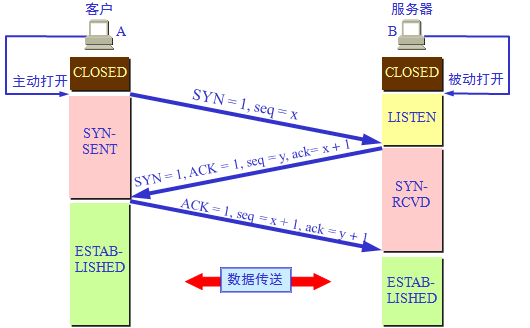
连续ARQ（自动重传）协议P192

（理解）滑动窗口P197

### TCP的连接建立和释放P217

连接建立：三次握手，或三次联络

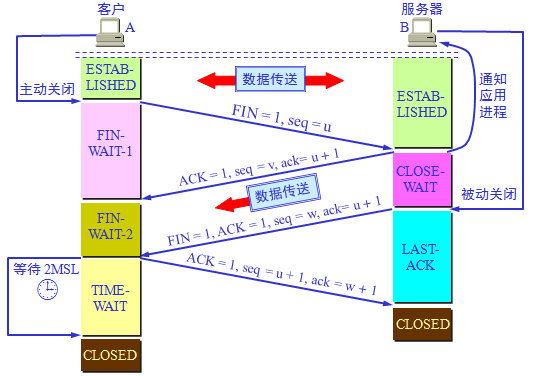
A发送一个报文给B，B发回确认，然后A加以确认



连接释放：四次握手，两个两次握手

A发送释放连接报文给B，B发回确认（A到B这个方向关闭，若B向A发数据，A还需接收）

B发送释放连接报文给A，A发回确认



### UDP（用户数据报）协议

运输协议数据单元：用户数据报

UDP不需要建立连接，是一条**不可靠信道**

特点：1.无连接的2.尽最大努力交付3.面向报文（叫个首部就发送报文不合并拆分）4.没有拥塞控制5.支持一对一，一对多，多对一，和多对多6.首部开销小

应用层协议使用TCP协议的有：DNS RIP BOOTR DHCP SNMP NFS

### 端口概念

TCP/IP的运输层用一个16位端口号来标志一个端口：应用层个协议进程与运输实体进行层间交互的一种地址

# 第六章 应用层

### 传输的数据单位：进程数据

### 域名系统DNS

采用层次树状结构的命名方法，并使用分布式域名系统

主机名——解析程序——IP地址

域名解析过程：某一个应用进程需要将主机名解析为IP地址时，该应用进程就成为域名系统的一个客户，并将待解析的域名放在DNS请求报文中，以UDP数据报方式发给本地域名服务器，本地域名服务器在查找域名后，将对应的IP地址放在报文后返回，应用进程获得主机的IP地址后就可进行通信

### 电子邮件

发送邮件的协议：SMTP简单邮件传送协议

读取邮件的协议

POP3邮局协议，特点：只要用户从POP服务器读取了邮件，POP服务器就把该邮件删除

IMAP因特网报文存取协议，在用户未发出删除邮件命令前，IMAP服务器将邮件一直保存

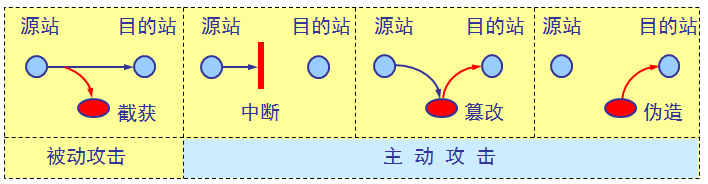
电子邮件由信封(envelope)和内容(content)两部分组成。

### 文件传输协议FTP

### 远程终端协议TELNET

### 超文本传送协议HTTP

# 第七章 网络安全



截获——从网络上窃听他人的通信内容 中断——有意中断他人在网络上的通信。

篡改——故意篡改网络上传送的报文 伪造——伪造信息在网络上传送。