一、概述

网络的网络

网络把主机连接起来，而互联网是把多种不同的网络连接起来，因此互联网是网络的网络。

ISP

互联网服务提供商 ISP 可以从互联网管理机构获得许多 IP 地址，同时拥有通信线路以及路由器等联网设备，个人或机构向 ISP 缴纳一定的费用就可以接入互联网。

目前的互联网是一种多层次 ISP 结构，ISP 根据覆盖面积的大小分为第一层 ISP、区域 ISP 和接入 ISP。

互联网交换点 IXP 允许两个 ISP 直接相连而不用经过第三个 ISP。

主机之间的通信方式

客户-服务器（C/S）：客户是服务的请求方，服务器是服务的提供方。

对等（P2P）：不区分客户和服务器。

电路交换与分组交换

1. 电路交换

电路交换用于电话通信系统，两个用户要通信之前需要建立一条专用的物理链路，并且在整个通信过程中始终占用该链路。由于通信的过程中不可能一直在使用传输线路，因此电路交换对线路的利用率很低，往往不到 10%。

2. 报文交换

报文交换用于邮局通信系统，邮局接收到一份报文之后，先存储下来，然后把相同目的地的报文一起转发到下一个目的地，这个过程就是存储转发过程。

3. 分组交换

分组交换也使用了存储转发，但是转发的是分组而不是报文。把整块数据称为一个报文，由于一个报文可能很长，需要先进行切分，来满足分组能处理的大小。在每个切分的数据前面加上首部之后就成为了分组，首部包含了目的地址和源地址等控制信息。

存储转发允许在一条传输线路上传送多个主机的分组，也就是说两个用户之间的通信不需要占用端到端的线路资源。

相比于报文交换，由于分组比报文更小，因此分组交换的存储转发速度更加快速。

时延

总时延 = 发送时延 + 传播时延 + 处理时延 + 排队时延

1. 发送时延

主机或路由器发送数据帧所需要的时间。

2. 传播时延

电磁波在信道中传播一定的距离需要花费的时间，电磁波传播速度接近光速。

3. 处理时延

主机或路由器收到分组时进行处理所需要的时间，例如分析首部、从分组中提取数据部、进行差错检验或查找适当的路由等。

4. 排队时延

分组在路由器的输入队列和输出队列中排队等待的时间，取决于网络当前的通信量。

1. 五层协议

应用层：为特定应用程序提供数据传输服务，例如 HTTP、DNS 等。数据单位为报文。

运输层：提供的是进程间的通用数据传输服务。由于应用层协议很多，定义通用的运输层协议就可以支持不断增多的应用层协议。运输层包括两种协议：传输控制协议 TCP，提供面向连接、可靠的数据传输服务，数据单位为报文段；用户数据报协议 UDP，提供无连接、尽最大努力的数据传输服务，数据单位为用户数据报。TCP 主要提供完整性服务，UDP 主要提供及时性服务。

网络层：为主机之间提供数据传输服务，而运输层协议是为主机中的进程提供服务。网络层把运输层传递下来的报文段或者用户数据报封装成分组。

数据链路层：网络层针对的还是主机之间的数据传输服务，而主机之间可以有很多链路，链路层协议就是为同一链路的结点提供服务。数据链路层把网络层传来的分组封装成帧。

物理层：考虑的是怎样在传输媒体上传输数据比特流，而不是指具体的传输媒体。物理层的作用是尽可能屏蔽传输媒体和通信手段的差异，使数据链路层感觉不到这些差异。

2. 七层协议

其中表示层和会话层用途如下：

表示层：数据压缩、加密以及数据描述。这使得应用程序不必担心在各台主机中表示/存储的内部格式不同的问题。

会话层：建立及管理会话。

五层协议没有表示层和会话层，而是将这些功能留给应用程序开发者处理。

3. 数据在各层之间的传递过程

在向下的过程中，需要添加下层协议所需要的首部或者尾部，而在向上的过程中不断拆开首部和尾部。

路由器只有下面三层协议，因为路由器位于网络核心中，不需要为进程或者应用程序提供服务，因此也就不需要运输层和应用层。

4. TCP/IP 体系结构

它只有四层，相当于五层协议中数据链路层和物理层合并为网络接口层。

现在的 TCP/IP 体系结构不严格遵循 OSI 分层概念，应用层可能会直接使用 IP 层或者网络接口层。

TCP/IP 协议族是一种沙漏形状，中间小两边大，IP 协议在其中占用举足轻重的地位。

二、物理层

通信方式

单向通信，又称为单工通信；

双向交替通信，又称为半双工通信；

双向同时通信，又称为全双工通信。

带通调制

模拟信号是连续的信号，数字信号是离散的信号。带通调制把数字信号转换为模拟信号。

信道复用技术

1. 频分复用、时分复用

频分复用的所有用户在相同的时间占用不同的频率带宽资源；时分复用的所有用户在不同的时间占用相同的频率带宽资源。

使用这两种方式进行通信，在通信的过程中用户会一直占用一部分信道资源。但是由于计算机数据的突发性质，通信过程没必要一直占用信道资源而不让出给其它用户使用，因此这两种方式对信道的利用率都不高。

2. 统计时分复用

是对时分复用的一种改进，不固定每个用户在时分复用帧中的位置，只要有数据就集中起来组成统计时分复用帧然后发送。

3. 波分复用

光的频分复用。由于光的频率很高，因此习惯上用波长而不是频率来表示所使用的光载波。

三、数据链路层

信道分类

点对点信道：一对一通信方式；

广播信道：一对多通信方式。

三个基本问题

1. 封装成帧

将网络层传下来的分组添加首部和尾部，用于标记帧的开始和结束。

2. 透明传输

透明表示一个实际存在的事物看起来好像不存在一样。

帧使用首部和尾部进行定界，如果帧的数据部分含有和首部尾部相同的内容，那么帧的开始和结束位置就会被错误的判定。需要在数据部分出现首部尾部相同的内容前面插入转义字符，如果出现转义字符，那么就在转义字符前面再加个转义字符，在接收端进行处理之后可以还原出原始数据。这个过程透明传输的内容是转义字符，用户察觉不到转义字符的存在。

3. 差错检测

目前数据链路层广泛使用了循环冗余检验（CRC）来检查比特差错。

局域网

局域网是典型的一种广播信道，主要特点是网络为一个单位所拥有，且地理范围和站点数目均有限。

可以按照网络拓扑对局域网进行分类：

a.星形网 b.环形网 c.总线网

PPP 协议

用于点对点信道中。互联网用户通常需要连接到某个 ISP 之后才能接入到互联网，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。

在 PPP 的帧中：

F 字段为帧的定界符

A 和 C 字段暂时没有意义

FCS 字段是使用 CRC 的检验序列

信息部分的长度不超过 1500

CSMA/CD 协议\*

用于广播信道中。在广播信道上，同一时间只能允许一台计算机发送数据。

CSMA/CD 表示载波监听多点接入 / 碰撞检测。

多点接入 ：说明这是总线型网络，许多计算机以多点的方式连接到总线上。

载波监听 ：每个站都必须不停地监听信道。在发送前，如果监听到信道正在使用，就必须等待。

碰撞检测 ：在发送中，如果监听到信道已有其它站正在发送数据，就表示发生了碰撞。虽然每一个站在发送数据之前都已经监听到信道为空闲，但是由于电磁波的传播时延的存在，还是有可能会发生碰撞。

扩展局域网

1. 在物理层进行扩展

使用集线器进行扩展。

集线器的主要功能是对接收到的信号进行放大，以扩大网络的传输距离。

集线器不能根据 MAC 地址进行转发，而是以广播的方式发送数据帧。

集线器是一种共享式的传输设备，意味着同一时刻只能传输一组数据帧。

2. 在链路层进行扩展

最开始使用的是网桥，它收到一个帧时，根据帧的 MAC 地址，查找网桥中的地址表，确定帧转发的接口。

网桥不是共享式设备，因此性能比集线器这种共享式设备更高。

交换机的问世很快就淘汰了网桥，它实质上是一个多接口网桥，而网桥是两接口。交换机的每个接口都能直接与一个主机或者另一个交换机相连，并且一般都工作在全双工方式。

交换机具有自学习能力，学习的是交换表的内容。交换表中存储着 MAC 地址到接口的映射。

3. 虚拟局域网

虚拟局域网可以建立与物理位置无关的逻辑组，只有在同一个虚拟局域网中的成员才会收到链路层广播信息，例如下图中 (A1, A2, A3, A4) 属于一个虚拟局域网，A1 发送的广播会被 A2、A3、A4 收到，而其它站点收不到。

4.MAC 层

MAC 地址是 6 字节（48 位）的地址，用于唯一标识网络适配器（网卡），一台主机拥有多少个适配器就有多少个 MAC 地址，例如笔记本电脑普遍存在无线网络适配器和有线网络适配器。

在 MAC 帧中：

类型 ：标记上层使用的协议；

数据 ：长度在 46-1500 之间，如果太小则需要填充；

FCS ：帧检验序列，使用的是 CRC 检验方法；

前同步码 ：只是为了计算 FCS 临时加入的，计算结束之后会丢弃。

网际协议 IP 概述

因为网络层是整个互联网的核心，因此应当让网络层尽可能简单。网络层向上只提供简单灵活的、无连接的、尽最大努力交互的数据报服务。

使用 IP 协议，可以把异构的物理网络连接起来，使得在网络层看起来好像是一个统一的网络。

与 IP 协议配套使用的还有三个协议：

地址解析协议 ARP（Address Resolution Protocol）

网际控制报文协议 ICMP（Internet Control Message Protocol）

网际组管理协议 IGMP（Internet Group Management Protocol）

IP 数据报格式

版本 : 有 4（IPv4）和 6（IPv6）两个值；

首部长度 : 占 4 位，因此最大值为 15。值为 1 表示的是 1 个 32 位字的长度，也就是 4 字节。因为首部固定长度为 20 字节，因此该值最小为 5。如果可选字段的长度不是 4 字节的整数倍，就用尾部的填充部分来填充。

区分服务 : 用来获得更好的服务，一般情况下不使用。

总长度 : 包括首部长度和数据部分长度。

标识 : 在数据报长度过长从而发生分片的情况下，相同数据报的不同分片具有相同的标识符。

片偏移 : 和标识符一起，用于发生分片的情况。片偏移的单位为 8 字节。

生存时间 ：TTL，它的存在是为了防止无法交付的数据报在互联网中不断兜圈子。以路由器跳数为单位，当 TTL 为 0 时就丢弃数据报。

协议 ：指出携带的数据应该上交给哪个协议进行处理，例如 ICMP、TCP、UDP 等。

首部检验和 ：因为数据报每经过一个路由器，都要重新计算检验和，因此检验和不包含数据部分可以减少计算的工作量。

IP 地址编址方式

IP 地址的编址方式经历了三个历史阶段：

分类

子网划分

无分类

1. 分类

由两部分组成，网络号和主机号，其中不同分类具有不同的网络号长度，并且是固定的。

IP 地址 ::= {< 网络号 >, < 主机号 >}

2. 子网划分

通过在主机号字段中拿一部分作为子网号，把两级 IP 地址划分为三级 IP 地址。注意，外部网络看不到子网的存在。

IP 地址 ::= {< 网络号 >, < 子网号 >, < 主机号 >}

要使用子网，必须配置子网掩码。一个 B 类地址的默认子网掩码为 255.255.0.0，如果 B 类地址的子网占两个比特，那么子网掩码为 11111111 11111111 11000000 00000000，也就是 255.255.192.0。

3. 无分类

无分类编址 CIDR 消除了传统 A 类、B 类和 C 类地址以及划分子网的概念，使用网络前缀和主机号来对 IP 地址进行编码，网络前缀的长度可以根据需要变化。

IP 地址 ::= {< 网络前缀号 >, < 主机号 >}

CIDR 的记法上采用在 IP 地址后面加上网络前缀长度的方法，例如 128.14.35.7/20 表示前 20 位为网络前缀。

CIDR 的地址掩码可以继续称为子网掩码，子网掩码首 1 长度为网络前缀的长度。

一个 CIDR 地址块中有很多地址，一个 CIDR 表示的网络就可以表示原来的很多个网络，并且在路由表中只需要一个路由就可以代替原来的多个路由，减少了路由表项的数量。把这种通过使用网络前缀来减少路由表项的方式称为路由聚合，也称为 构成超网 。

在路由表中的项目由“网络前缀”和“下一跳地址”组成，在查找时可能会得到不止一个匹配结果，应当采用最长前缀匹配来确定应该匹配哪一个。

IP 地址和 MAC 地址

网络层实现主机之间的通信，而链路层实现具体每段链路之间的通信。因此在通信过程中，IP 数据报的源地址和目的地址始终不变，而 MAC 地址随着链路的改变而改变。

地址解析协议 ARP

每个主机都有一个 ARP 高速缓存，里面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。

如果主机 A 知道主机 B 的 IP 地址，但是 ARP 高速缓存中没有该 IP 地址到 MAC 地址的映射，此时主机 A 通过广播的方式发送 ARP 请求分组，主机 B 收到该请求后会发送 ARP 响应分组给主机 A 告知其 MAC 地址，随后主机 A 向其高速缓存中写入主机 B 的 IP 地址到硬件地址的映射。

路由器的结构

路由器从功能上可以划分为：路由选择和分组转发。

分组转发结构由三个部分组成：交换结构、一组输入端口和一组输出端口。

路由器分组转发流程

从数据报的首部提取目的主机的 IP 地址 D，得到目的网络地址 N。

若 N 就是与此路由器直接相连的某个网络地址，则进行直接交付；

若路由表中有目的地址为 D 的特定主机路由，则把数据报传送给表中所指明的下一跳路由器；

若路由表中有到达网络 N 的路由，则把数据报传送给路由表中所指明的下一跳路由器；

若路由表中有一个默认路由，则把数据报传送给路由表中所指明的默认路由器；

报告转发分组出错。

路由选择协议

互联网使用的路由选择协议都是自适应的，能随着网络通信量和拓扑结构的变化而自适应地进行调整。

互联网可以划分为许多较小的自治系统 AS，一个 AS 可以使用一种和别的 AS 不同的路由选择协议。

可以把路由选择协议划分为两大类：

内部网关协议 IGP（Interior Gateway Protocol）：在 AS 内部使用，如 RIP 和 OSPF。

外部网关协议 EGP（External Gateway Protocol）：在 AS 之间使用，如 BGP。