

第 1-2 周作业答案

1-02:

【1-02】 试简述分组交换的要点。

解答：分组交换最主要的特点就是采用存储转发技术。

我们把要发送的整块数据称为一个报文。在发送报文之前，先把较长的报文划分成一个个更小的等长数据段，例如，每个数据段为 1024 bit。在每一个数据段前面，加上一些必要的控制信息组成的首部后，就构成了一个分组。分组又称为“包”，而分组的首部也可称为“包头”。分组是在互联网中传送的数据单元。分组中的“首部”是非常重要的，正是由于分组的首部包含了诸如目的地址和源地址等重要控制信息，每一个分组才能在互联网中独立地选择传输路径。

互联网的核心部分是由许多网络和把它们互连起来的路由器组成的，而主机处在互联网的边缘部分。主机是为用户进行信息处理的，并且可以和其他主机通过网络交换信息。路由器则

是用来转发分组（即进行分组交换）的。路由器每收到一个分组，先临时存储下来（这个存储的时间非常短暂），再检查其首部，查找转发表，按照首部中的目的地址，找到合适的接口转换出去，把这个分组转交给下一个路由器。这样一步一步地经过若干个或几十个不同的路由器，以存储转发的方式，把分组交付最终的目的主机。各路由器之间必须经常交换彼此掌握的路由信息，以便创建和维持在路由器中的转发表，使得转发表能够在整个网络拓扑发生变化时及时更新。

1-03:

【1-03】 试从多个方面比较电路交换、报文交换和分组交换的主要优缺点。

解答：电路交换的主要特点：

(1) 通信之前先要建立连接，通信完毕后要释放连接。也就是说，通信一定要有三个阶段：建立连接、通信、释放连接。

(2) 在整个通信过程中，通信的双方自始至终占用着所使用的物理信道。

因此，对于计算机通信，由于计算机数据是突发性的，因此，从通信线路的利用率来考虑，电路交换的效率就比较低。此外，当通信双方占用的通信线路由很多段链路（通过若干个交换机把这些链路连通）组成时，只有在每一段链路都能接通（每一段链路都有空闲的信道资源还没有被其他用户占用，即有可用资源）时，整个的连接建立才能完成（哪怕只有一段链路没有空闲的信道可供使用，连接建立也无法完成）。当通信网的业务量很繁忙时，电路交换无法保证用户的每一个呼叫都能接通。如果第一阶段的连接建立不能完成，那么后续阶段的通信过程当然也就无法进行。

在电路交换的通信过程中，只要在整个连接中有一个环节（如某段链路或某个交换机）出了故障，那么整个连接就不复存在，接着就是通信的中断。若要重新进行通信，必须重新建立连接。如果能够绕过刚才的故障链路或故障交换机而建立新的连接，那么就可以开始新的通信。这就是说，电路交换系统不能自动从故障中进行恢复。

但电路交换有一个最主要的优点，就是只要连接能够建立，那么双方通信所需的传输带宽就已经分配好而不会再改变。这叫作静态分配传输带宽。通信双方愿意占用通信资源多久，就占用多久（对于公用网，只要按规定付费即可），而不受网络中的其他用户的影响。当网络发生拥塞时，网络中的其他用户很可能反复呼叫都无法建立连接，但这些动作都不会影响已经占用了通信资源的用户的通信质量（除非发生了通信网中的故障，影响到正在进行通信的连接）。

目前最常用的分组交换使用无连接的 IP 协议。这种分组交换以分组作为传输的单位，采用存储转发技术，并且没有连接建立和连接释放这两个阶段，因此传送数据比较迅速。在传输数据的过程中，动态分配传输带宽，对通信链路是逐段占用的。这就是说，若某段链路的带宽较高，分组的传输速率就较快；若另一段链路的带宽较低，传输速率就较慢。不像电路交换那样，从源点到终点都是同样的传输速率。可见，分组交换能够比较合理而有效地利用各链路的传输带宽。

分组交换采用分布式的路由选择协议。当网络中的某个节点或链路出现故障时，分组传送的路由可以自适应地动态改变，使数据的传送能够继续下去。传送数据的源点和接收数据的终点甚至不会感觉到网络中所发生的故障。因此分组交换网络有很好的生存性。

分组交换也有一些缺点。例如，分组在各路由器存储转发时需要排队，这就会造成一定的时延。此外，由于分组交换无法确保通信时端到端所需的带宽，因此当分组交换网的通信量突

然增大时，可能会在网络中的某处产生拥塞，从而延长数据的传送时间。当网络拥塞非常严重时，整个网络也可能会瘫痪。分组交换的另一个问题是各分组必须携带控制信息，这也造成了一定的开销。整个分组交换网还需要专门的管理和控制机制。当然，电路交换网也需要网络管理，但电路交换网的交换机都具有很强的网络管理功能，能够对网络进行很有效的管理。分组交换网中的路由器比较简单，无法对整个网络进行管理。必须在网络中由专门的主机来运行专门的网络管理软件，对整个网络进行管理。

报文交换也采用存储转发技术，不同的是，报文交换不再把报文划分为更小的分组，而是把整个报文在网络的节点中存储下来，然后再转发出去。这样做，省去了划分小的分组的步骤，也省去了在终点把分组重装成报文的过程。但报文交换在灵活性上不如分组交换，传送数据的时延较大。本来报文交换是用来传送电报的。现在已经很少有人打电报了，因此报文交换已经很少使用了。

【1-05】 互联网基础结构的发展大致分为哪几个阶段？请指出这几个阶段最主要的特点。

解答：互联网的基础结构大体上经历了三个阶段的演进。但这三个阶段在时间划分上并非截然分开而是有部分重叠的，这是因为网络的演进是逐渐的而不是在某个日期突然发生的。

第一阶段是从单个网络 ARPANET 向互联网发展的过程。1969 年美国国防部创建的第一个分组交换网 ARPANET 最初只是一个单个的分组交换网（并不是一个互连的网络）。所有要连接在 ARPANET 上的主机都直接与就近的节点交换机相连。但到了 20 世纪 70 年代中期，人们已认识到不可能仅使用一个单独的网络来解决所有的通信问题。于是 ARPA 开始研究多种网络（如分组无线网络）互连的技术，这就导致了后来互连网的出现。这样的互连网就成为现在互联网(Internet)的雏形。1983 年 TCP/IP 协议成为 ARPANET 上的标准协议，使得所有使用 TCP/IP 协议的计算机都能利用互联网相互通信，因而人们就把 1983 年作为互联网的诞生时间。1990 年 ARPANET 正式宣布关闭，因为它的实验任务已经完成。

第二阶段的特点是建成了三级结构的互联网。从 1985 年起，美国国家科学基金会 NSF (National Science Foundation)就围绕 6 个大型计算机中心建设计算机网络，即国家科学基金网 (NSFNET)。它是一个三级计算机网络，分为主干网、地区网和校园网（或企业网）。这种三级计算机网络覆盖了全美国主要的大学 and 研究所，并且成为互联网中的主要组成部分。1991 年，NSF 和美国的其他政府机构开始认识到，互联网必将扩大其使用范围，不应仅限于大学和研究机构。世界上的许多公司纷纷接入到互联网，使网络上的通信量急剧增大，互联网的容量已满足不了需要。于是美国政府决定将互联网的主干网转交给私人公司来经营，并开始对接入互联网的单位收费。1992 年互联网上的主机超过 100 万台。1993 年互联网主干网的速率提高到 45 Mbit/s (T3 速率)。

第三阶段的特点是逐渐形成了多层次 ISP 结构的互联网。从 1993 年开始，由美国政府资助的 NSFNET 逐渐被若干个商用的互联网主干网替代，而政府机构不再负责互联网的运营。这样就出现了一个新的名词：互联网服务提供者 ISP (Internet Service Provider)。在许多情况下，ISP 就是一个从事商业活动的公司，因此 ISP 又常译为互联网服务提供商。ISP 拥有从互联网管理机构申请到的多个 IP 地址，同时拥有通信线路（大的 ISP 自己建造通信线路，小的 ISP 则向电信公司租用通信线路）以及路由器等连网设备，因此任何机构和个人只要向 ISP 交纳规定的费用，就可从 ISP 得到所需的 IP 地址，并通过该 ISP 接入到互联网。我们通常所说的“上网”就是指“（通过某个 ISP）接入到互联网”，因为 ISP 向连接到互联网的用户提供了 IP 地址。IP 地址的管理机构不会把一个单个的 IP 地址分配给单个用户（不“零售”IP 地址），而是把一批 IP 地址有偿分配给经审查合格的 ISP（只“批发”IP 地址）。从以上所讲的可以看出，现在的互联网已不是某个单个组织所拥有而是全世界无数大大小小的 ISP 所共同拥有的。

【1-10】试在下列条件下比较电路交换和分组交换。要传送的报文共 x (bit)。从源点到终点共经过 k 段链路，每段链路的传播时延为 d (s)，数据率为 b (bit/s)。在电路交换时电路的建立时间为 s (s)。在分组交换时，分组长度为 p (bit)，每个分组所必须添加的首部都很短，对分组的发送时延的影响在题中可以不考虑。此外，各节点的排队等待时间也可忽略不计。问在怎样的条件下，分组交换的时延比电路交换的要小？（提示：画一下草图观察 k 段链路共有几个节点。）

解答：电路交换必须先建立连接，需要的时间是 s 秒。

发送 x 比特的报文所需的时间是报文长度除以数据率 b 。因此发送时延是 x/b 。

总的传播时延是链路数乘以每段链路的传播时延，即 kd 。

因此，电路交换的时延由以上三项组成，即： $s + x/b + kd$ 。

分组交换时延的计算要稍微麻烦一点，见图 T-1-10。请注意，分组经过 k 段链路，中间要经过 $k-1$ 个节点转发。

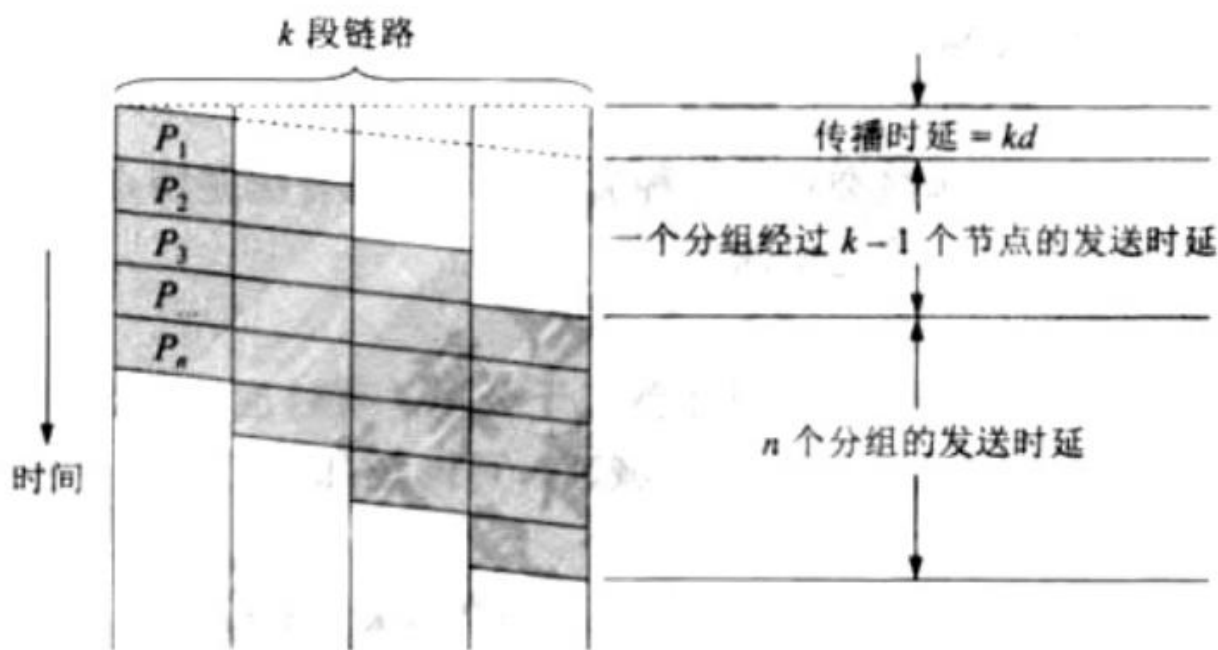


图 T-1-10 分组交换产生的时延

分组交换不需要先建立连接（这里假定了题目中的分组交换使用数据报传送。如果使用虚电路传送则需要先建立连接）。从图 T-1-10 的右边可看出，总时延由三部分组成。

先计算分组交换的传播时延，这和电路交换是一样的，也是 kd 。

再计算 n 个分组所需的发送时延，这需要知道报文 x 一共划分为多少个分组。将报文长度 x 除以一个分组的长度 p 就得出分组的数目 n 。在一般情况下， x 除以 p 所得到的商可能不是整数，因此要把得出的商的整数部分加 1 才是分组的数目 n 。我们知道，符号 $\lceil a \rceil$ 表示 a 的整数部分加 1，例如， $\lceil 3.02 \rceil = 4$ 。因此，分组的数目

$$n = \left\lceil \frac{x}{p} \right\rceil$$

这样，发送 n 个分组所需的发送时延是：

$$\left\lceil \frac{x}{p} \right\rceil \cdot \frac{p}{b}$$

请注意，最后一个分组的长度一般会小于前面 $n-1$ 个分组的长度，而小多少我们也无从得知。这样，最后一个分组的发送时延就无法算出。于是，我们这里还需要再使用一个假定，即：所有分组的发送时延都是相同的。这就是认为所有的分组都是等长的。

从图 T-1-10 可以看出，总时延中还有一项，就是一个分组经过 $k-1$ 个节点的发送时延。当 $k=1$ 时，就没有这一项。

在一段链路上发送一个分组的发送时延是 p/b ， $(k-1)$ 段链路的发送时延是 $(k-1)p/b$ ，因此把以上三部分时延相加，就得出在分组交换情况下的总时延：

$$kd + \left\lceil \frac{x}{p} \right\rceil \cdot \frac{p}{b} + (k-1) \frac{p}{b}$$

分组交换时延较电路交换时延小的条件为：

$$kd + \left\lceil \frac{x}{p} \right\rceil \cdot \frac{p}{b} + (k-1) \frac{p}{b} < s + \frac{x}{b} + kd$$

当 $x \gg p$ 时，

$$\left\lceil \frac{x}{p} \right\rceil \approx \frac{x}{p}$$

得出分组交换时延较电路交换时延小的条件为：

$$(k-1) p/b < s$$

1-11:

【1-11】 在上题的分组交换网中，设报文长度和分组长度分别为 x 和 $(p+h)$ (bit)，其中 p 为分组的数据部分的长度，而 h 为每个分组所添加的首部长度，与 p 的大小无关。通信的两端共经过 k 段链路。链路的数据率为 b (bit/s)，但传播时延和节点的排队时间均可忽略不计。若打算使总的时延为最小，问分组的数据部分长度 p 应取为多大？（提示：参考图 T-1-10，观察总的时延由哪几部分组成。）

解答：本题实际上是假定了整个报文恰好可以划分为 x/p 个分组。

现在每一个分组的发送时延是 $(p+h)/b$ ，因此我们可以写出总时延 D 的表达式：

$$D = \frac{x}{p} \frac{p+h}{b} + (k-1) \frac{p+h}{b} = \frac{x}{b} + (k-1) \frac{h}{b} + \frac{xh}{bp} + \frac{(k-1)p}{b}$$

为了计算 D 的极值，求 D 对 p 的导数，令 $\frac{dD}{dp} = 0$ ，得出：

$$\frac{(k-1)}{b} - \frac{xh}{b} \frac{1}{p^2} = 0$$

解出

$$p = \sqrt{\frac{xh}{k-1}}$$

分组长度有一个最佳值的物理意义是这样的：

从 D 的表达式可以看出, 若分组很短, 则该表达式右端第一项将增大。这表示分组数目很大会导致每个分组的控制信息所引起的时延增大。但若分组很长, 则该表达式右端第二项将增大。因此, 分组的长度不宜太短或太长。

1-12:

【1-12】 互联网的两大组成部分(边缘部分与核心部分)的特点是什么? 它们的工作方式各有什么特点?

解答: 互联网的拓扑结构非常复杂, 并且在地理上覆盖了全球, 但从其工作方式上看, 可以划分为以下两大块。

(1) 边缘部分: 由所有连接在互联网上的主机组成。这部分是用户直接使用的, 用来进行通信(传送数据、音频或视频)和资源共享。

(2) 核心部分: 由大量网络和连接这些网络的路由器组成。这部分是为边缘部分提供服务的(提供连通性和交换)。

在网络边缘的端系统之间的通信方式通常可划分为两大类: 客户-服务器方式(C/S 方式)和对等方式(P2P 方式)。这两种通信方式的区别见习题 1-13。

在网络核心部分起特殊作用的是路由器。路由器是实现分组交换的关键构件, 如果没有路由器, 再多的网络也无法构建成互联网。由此可以看出, 互联网的核心部分的工作方式其实也就是路由器的工作方式。

路由器的任务是转发收到的分组。当路由器转发分组时, 必须查找路由表。因此, 互联网中的各路由器必须根据路由选择协议的规定相互交换路由信息, 以便使路由表能够及时反映出网络拓扑的变化。

由此可见, 互联网的核心部分的工作方式有两种: 一种是路由器转发分组(这是直接为主机之间的通信服务的), 另一种是路由器之间不断地交换路由信息(这是为了保证路由表的路由信息与网络的实际拓扑一致)。

1-13:

【1-13】 客户-服务器方式与 P2P 对等通信方式的主要区别是什么? 有没有相同的地方?

解答: 客户-服务器方式所描述的是进程之间服务和被服务的关系。客户是服务请求方, 服务器是服务提供方。服务请求方和服务提供方都要使用网络核心部分所提供的服务。

客户程序被用户调用后运行, 在通信时主动向远地服务器发起通信(请求服务)。因此, 客户程序必须知道服务器程序的地址。客户程序不需要特殊的硬件和很复杂的操作系统。服务器程序是一种专门用来提供某种服务的程序, 可同时处理多个远地或本地客户的请求。服务器程序在系统启动后即自动调用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。因此, 服务器程序不需要知道客户程序的地址, 并且一般需要有强大的硬件和高级的操作系统支持。

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。

对等连接(或 P2P 方式)是指两个主机在通信时并不区分哪一个是服务请求方哪一个是服务提供方。只要两个主机都运行了对等连接软件(P2P 软件), 它们就可以进行平等的对等连接通信。

实际上, 对等连接方式从本质上看仍然使用客户-服务器方式, 只是对等连接中的每一个主机既是客户又是服务器。

1-18:

【1-18】 假设信号在媒体上的传播速率为 $2.3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。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:

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

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。

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

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 l	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

1-22:

【1-22】 网络协议的三个要素是什么? 各有什么含义?

解答: 网络协议主要由以下三个要素组成:

- (1) 语法, 即数据与控制信息的结构或格式。
- (2) 语义, 即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, 即事件实现顺序的详细说明。

1-24:

【1-24】 试述具有五层协议的网络体系结构的要点, 包括各层的主要功能。

解答: 我们知道, OSI 的体系结构是七层协议。TCP/IP 的体系结构是四层协议, 而真正有具体内容的只是上面三层。在学习计算机网络的原理时往往采取折中的办法, 即综合 OSI 和 TCP/IP 的优点, 采用一种有五层协议的体系结构。图 T-1-24 给出了五层协议的结构。

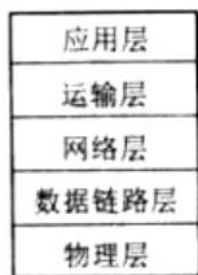


图 T-1-24 五层协议的结构

这五层协议的主要功能如下。

(1) 物理层——在物理层上所传数据的单位是比特 (bit)。物理层的任务就是透明地传送比特流。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条引脚应如何连接。当然, 哪几个比特代表什么意思, 则不是物理层所要管的。请注意, 传递信息所利用的一些物理媒体, 如双绞线、同轴电缆、光缆、无线信道等, 并不在物理层协议之内而是在物理层协议的下面。因此也有人把物理媒体当作第 0 层。

(2) 数据链路层——常简称为链路层。在两个相邻节点之间 (主机和路由器之间或两个路由器之间) 传送数据是直接传送的 (即不需要经过转发的点对点通信)。这时就需要使用专门的链路层的协议。数据链路层将网络层交下来的 IP 数据报组装成帧, 在两个相邻节点间的链路上“透明”地传送帧中的数据。每一帧包括数据和必要的控制信息 (如同步信息、地址信息、差错控制等)。

在接收数据时, 控制信息使接收端能够知道一个帧从哪个比特开始和到哪个比特结束。这样, 数据链路层在收到一个帧后, 就可从中提取出数据部分, 上交给网络层。

控制信息还使接收端能够检测到所收到的帧中有无差错。如发现有差错, 数据链路层就简单地丢弃这个出了差错的帧, 以免继续传送下去白白浪费网络资源。如果需要改正错误, 就由运输层的 TCP 协议来完成。

(3) 网络层——网络层负责为分组交换网上的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。在 TCP/IP 体系中, 由于网络层使用 IP 协议, 因此分组也叫作 IP 数据报, 简称为数据报。

网络层的另一个任务就是选择合适的路由, 使源主机运输层所传下来的分组能够通过网络中的路由器找到目的主机。

对于由广播信道构成的分组交换网, 路由选择的问题很简单, 因此这种网络的网络层非常简单, 甚至可以没有。

(4) 运输层——运输层的任务就是向两个主机中进程之间的通信提供服务。由于一个主机可同时运行多个进程, 因此运输层有复用和分用的功能。复用就是多个应用层进程同时使用下面运输层的服务, 分用则是运输层把收到的信息分别交付上面应用层中相应的进程。

运输层主要使用以下两种协议: 一个是传输控制协议 TCP, 是面向连接的, 数据传输的单位是报文段, 能够提供可靠的交付。另一个是用户数据报协议 UDP, 是无连接的, 数据传输的单位是用户数据报, 不保证提供可靠的交付, 只能提供“尽最大努力交付”。

(5) 应用层——应用层是体系结构中的最高层。应用层直接为用户的应用进程提供服务。这里的进程就是指正在运行的程序。互联网中的应用层协议很多, 如支持万维网应用的 HTTP 协议、支持电子邮件的 SMTP 协议、支持文件传送的 FTP 协议, 等等。

1-26:

【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:

【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。