

第3章 计算机网络与协议

3.1 基础知识

3.1.1 计算机网络的功能

1. 计算机网络的主要功能

(1) 硬件共享：用户可以使用网络中任意一台计算机所附接的硬件设备，利用其他计算机的中央处理器来分担用户的处理任务，尤其是一些高级和昂贵的设备，从而节省用户的投资，也便于集中管理，均衡分担负荷。例如，同一网络中的用户共享打印机、共享硬盘空间等。

(2) 软件共享：用户使用远程主机的软件（系统软件 and 用户软件），既可以将相应软件调入本地计算机执行，也可以将数据送至对方主机，运行软件并返回结果。从而避免软件研制上的重复劳动以及数据资源的重复存储，也便于集中管理。

(3) 数据传输：为分布在各地的用户提供了强有力的通信手段。使得用户可以通过网络传送电子邮件，发布新闻消息，进行文件传输、语音通信、视频会议等，极大地方便了用户，提高了工作效率。

2. 计算机网络的其他功能

除了上述主要功能之外，计算机网络还可以实现集中管理、分布式处理和负载平衡等功能。

(1) 集中管理：计算机网络技术的发展和运用，已使得现代办公、经营管理的方式发生了很大的变化。目前，已经有了许多 MIS 和 OA 系统，通过这些系统可以实现日常工作的集中管理，提高工作效率，增加经济效益。

(2) 实现分布式处理：网络技术的发展，使得分布式计算成为可能。可以将大型课题分为许许多多的小题目，由不同的计算机分别完成，然后集中起来解决问题。

(3) 负载平衡：负载平衡是指工作被均匀地分配给网络上的各台计算机。网络控制中心负责分配和检测，当某台计算机负载过重时，系统会自动将部分工作转移到负载较轻的计算机中去处理。

3.1.2 计算机网络的组成和分类

1. 计算机网络系统的组成

计算机网络通常由三部分组成：资源子网、通信子网和通信协议。

(1) 资源子网：是网络中实现资源共享功能的设备及其软件的集合，负责全网的数据处理，向网络用户提供各种网络资源与网络服务，由用户的主机和终端组成，主机通过高速通信线路与通信子网的通信控制处理器相连。

(2) 通信子网：是计算机网络中实现网络通信功能的设备及其软件的集合，包括传输线路、网络设备和网络控制中心等硬软件设施，完成网络数据传输、转发等通信处理任务，电信部门提供的网络（如 X.25 网、DDN、帧中继网等）一般都属于通信子网，通信子网与具体的应用无关。

(3) 通信协议：协议是为了在网络中不同设备之间进行数据通信而预先制定的一整套通信双方共同遵守的格式和约定。它的存在与否是计算机网络与一般计算机互连系统的根本区别。不同的计算机网络使用不同的通信协议，如开放系统互连（OSI）协议、X.25 协议等。

2. 网络的分类

网络的划分方法有很多种。按照网络的跨度可以划分为广域网（WAN）、局域网（LAN）和城域网（MAN），按照网络的交换方式主要可以分为电路交换和分组交换网络，按照网络的拓扑结构可以分为星型、总线型、环型、树型和网状网，按照网络的传输介质可以分为双绞线、同轴电缆、光纤和无线网络；按照网络的信道可以分为窄带和宽带网络，按照网络传输技术可以分为点对点 and 广播式网络，按照网络的用途可以分为教育、科研、商业及企业网络等。本节按照网络跨度和交换方式对网络进行划分。

1) 按照网络跨度划分

根据网络覆盖的范围，网络可以分为广域网、局域网、城域网等。

(1) 广域网（WAN）。也称为远程网，它的覆盖范围可从几百公里到几千公里，可以覆盖一个地区或一个国家，甚至整个世界。因为距离较远，信息衰减比较严重，所以这种网络一般需要租用专线；由于其规模较大，传输延迟也较大。如我国的 CHINANET、CHINAPAC 和 CHINADDN。

(2) 局域网（LAN）。最常见、应用最广的一种网络。它的覆盖范围在几十米或数公里，限定在较小的区域内。通常安装在一个建筑物或校园（园区）中，常由一个单位投资组建。有的家庭中甚至都有自己的小型局域网。局域网在计算机数量配置上没有太多的限制，少至两台，多可达几百台。局域网不存在寻径问题，通常不包括网络层的应用。

局域网的特点是连接范围窄、用户数少、配置容易、连接速率高。目前局域网的最快速率达到 10Gb/s。IEEE 的 802 标准委员会定义了多种形式的局域网，包括以太网（Ethernet）、令牌环网（Token Ring）、光纤分布式数据接口网络（FDDI）以及无线局域网（WLAN）等。

(3) 城域网（MAN）。也称市域网，覆盖范围一般是一个城市，介于局域网和广域网之间。它的覆盖范围在几十公里至数百公里，采用 IEEE 802.6 标准。与 LAN 相比，MAN 的扩展距离更长，连接的计算机数量更多，在地理范围上可以说是 LAN 的延伸。在一个

大型城市或都市地区，一个 MAN 网络通常连接着多个 LAN。

随着网络技术的发展以及新型的网络设备和传输媒体的广泛应用，局域网和城域网之间的区别逐渐模糊。有些从局域网中发展起来的技术也可以用于城域网，甚至广域网当中。

2) 按照网络交换方式划分

按照网络的交换方式主要可以分为电路交换和分组交换网络。

(1) 电路交换。采用电路交换方式时，在通信开始之前要先建立通路，在通信结束之后还要释放链路。在整个通信进行的过程中，通信信道由参与通信的用户独享，即使某个时刻没有信息在信道上传递，其他用户也不能使用此信道。采用这种交换方式，可以保证用户的通信带宽，时延较短；但线路的利用率不高。现在广泛使用的电话通信网络中用的就是电路交换技术。

(2) 分组交换。分组是指包含用户数据和协议头的块，每个分组通过网络交换机或路由器被传送到正确目的地。一条信息可能被划分为多个分组，每个分组在网络中独立传输，并且可能沿不同路由到达目的地。一旦属于同一条信息的所有分组都到达了目的地，就可以将它们重装，形成原始信息，传递给上层用户。这个过程称为分组交换。

分组交换有以下两种方式：

① 虚电路交换。在两个节点开始传送数据之前，需要先建立路由，在每个中间节点的路由表中需要标识出属于此虚电路的分组应该沿哪条路由传递。通信结束之后，需要将虚电路拆除。这种通信过程与电路交换的过程类似。两者最大的不同在于，采用虚电路方式，当信道中没有属于此虚电路的分组传输时，可以在信道上传输其他分组，提高了信道的利用率。

② 数据报交换。采用数据报方式时，每个分组头部都包含了分组目的地信息。中间节点通过检查分组头部，为分组确定路由。每个分组通过网络时的路由可能是不同的。因此，分组抵达目的节点时的顺序与其发送顺序可能不同。

如上所述，与电路交换相比，分组交换的主要优势在于，通信线路不是独占的。电路交换的优点是数据传输快速、按序到达目的地且到达速率恒定。因此电路交换适用于实时数据传输过程，如对服务质量有较高要求的音频和视频信息。目前得到广泛应用的电话交换系统就是电路交换网络。而分组交换更适用于突发数据的传输，且能抵御传输中的时延和抖动。大多数网络协议，如 TCP/IP、X.25 及帧中继等，都是基于分组交换技术的。互联网就是一种分组交换网络。

3.1.3 计算机网络的体系结构

网络体系结构为了完成计算机间的通信合作，把每个计算机的功能划分成明确的层次，规定了同层进程通信的协议，以及相邻层之间的接口及服务。这些层次结构、同层进程间通信的协议以及相邻层之间的接口统称为网络体系结构。

网络体系结构仅仅是人们对网络功能的描述，这些功能的实现要通过具体的硬件和软

件来完成。因此，也可以认为网络体系结构是网络层次结构模型和各层次协议的集合。

1. 网络体系结构的分层原理

计算机网络系统非常复杂，由一个程序来完成所有这些功能显然是不现实的。计算机网络体系结构中采用了分层方法将一个复杂的系统分解为若干个容易处理的子系统。

1) 分层原理

在分层结构中，一个层次完成一项相对独立的功能。在层次之间设置了通信接口。在一个 N 层结构中，第 N 层是第 $N-1$ 层的用户，又是第 $N+1$ 层的服务提供者。第 $N+1$ 层直接使用了第 N 层提供的服务，但实际上它通过第 N 层还间接地使用了第 $N-1$ 层以及以下所有各层提供的服务。

采用层次结构的优点在于每层实现的功能是相对独立的。实现每层功能的软件在保证实现层间接口功能的基础上，可以独立设计、调试，这样各层的软件开发就可以并行进行，也进一步保证了软件设计的质量。某一层的功能发生变化或需要更新时，只要接口功能不变，就不会对其他各层产生影响。软件维护也比较方便。计算机网络中的层次结构一般都是以垂直分层模型来表示的，如图 3.1 所示。

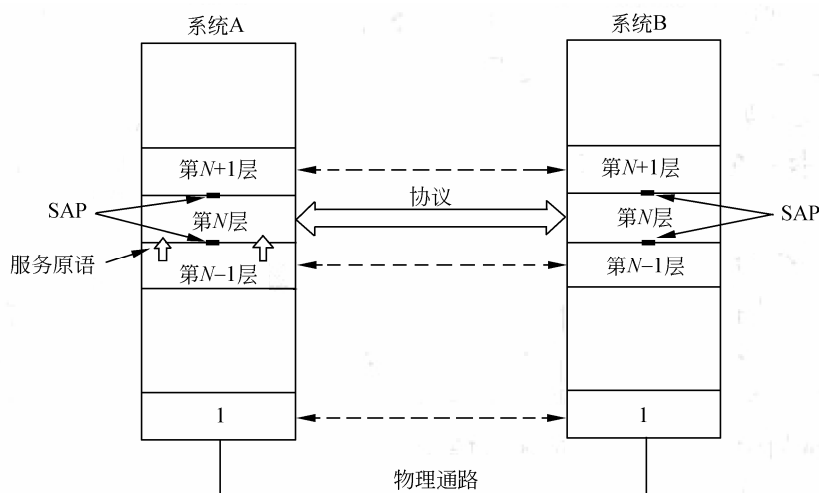


图 3.1 网络垂直分层模型

- 服务访问点（Service Access Point, SAP）：两个层次之间是通过 SAP 进行通信的，第 N 层通过 N -SAP 向第 $N+1$ 层实体提供服务，第 $N+1$ 层实体通过 $(N+1)$ -SAP 向第 N 层实体请求服务。每层向其上层提供的服务都是由本层及较低层共同实现的。但高层在使用低层提供的功能和服务时，并不需要了解低层是如何实现此功能的，即低层功能的实现对于高层来说是透明的。
- 服务原语（primitive）：服务的请求与提供是通过在 SAP 上发送或接收服务原语来

实现的。这是 N 层服务的用户与 N 层服务的提供者通过 N -SAP 进行的交互，指出了相应的服务和必须执行的抽象操作。服务原语可以由服务用户发出，也可由服务提供者发出。

- 协议（protocol）：不同系统的对等层之间为了完成本层的功能而必须遵循的通信规则和约定。

2) 层次划分原则

由于计算机网络结构复杂，不可能用一个程序来完成所有的功能，需要对网络进行层次划分。那么，应该将整个系统划分成几层，每层应该完成什么功能呢？下面首先了解一下在进行系统划分时应该遵循的几条原则，在下节中将对具体的网络分层模型进行介绍。

系统划分应遵循的原则如下：

- 各层功能明确，即每一层的划分都应有明确的、与其他层不同的基本功能。这样在某层的具体实现方法或功能发生变化时，只要保持与上层、下层的接口不变，就不会对其他各层产生影响。
- 层间接口清晰。应尽量减少跨过接口的通信量。
- 层数适中。层数应足够多，以避免不同的功能混杂在同一层中；但也不能太多，否则体系结构会过于庞大，会增加各层服务的开销。
- 网络中各节点都具有相同的层次，不同节点的同等层具有相同的功能。

2. 通信协议

协议是为同等实体之间制定的有关通信规则的集合。网络协议包括三个要素。

- 语义（semantics）。涉及用于协调和差错处理等功能的控制信息，即需要发出何种控制信息，以及完成的动作和做出的响应。
- 语法（syntax）。涉及数据及控制信息的格式、编码及信号电平等，即用户数据的控制信息结构及格式。
- 定时（timing）。涉及速度匹配和排序等，即对事件实现顺序的详细说明。

3.1.4 网络分层模型

3.1.3 节中介绍了网络分层的一些基本概念，本节将介绍两种具体的网络分层参考模型：国际标准化组织（ISO）制定的开放系统互连参考型（Open System Interconnection Reference Model, OSI/RM）和 TCP/IP 参考模型。

1. OSI 参考模型

1) OSI 参考模型概述

开放系统互连参考模型（OSI/RM）是一个开放式计算机网络的层次结构模型。“开放”表示任何两个遵守了参考模型及相关标准的系统都可以进行互连。这个模型定义了异种计算机标准间的互连。之所以提出这样一个参考模型，是由于在 1974 年 IBM 公司提出了世界上第一个系统网络体系结构（System Network Architecture, SNA）之后，各厂商纷纷提

出了自己的网络体系结构。为了避免各种网络体系结构之间在互连、互操作和可移植性方面可能出现的问题，ISO 在 1978 年提出了 OSI/RM。此标准在 1983 年成为正式的国际标准。遵循这个标准的系统可以和其他任何遵守该标准的系统进行通信。因此称其为“开放”系统互连参考模型。

OSI 参考模型仅仅提出了对于系统的体系结构 (Architecture)、服务定义 (Service Definition) 和协议规格说明 (Protocol Specification) 的描述，并没有提出任何具体协议，也没有给出任何具体的实现方法。因此实现这样一个参考模型时，还需要对具体的协议和实现协议的具体办法进行研究。这是个非常庞杂的任务，到目前为止，世界上还没有任何一个厂商或者组织真正实现了这个参考模型。事实上，这个参考模型具有双重意义，它为人们研究相关的协议提供了一个很好的参考，但是从另外一个意义上讲，过分关注这个模型可能会使人们的研究走入困境。也正因为如此，人们提到网络体系结构时都要说到七层模型，但实际中使用的标准却不是这个七层模型，而是 TCP/IP 参考模型。

OSI 参考模型对系统体系结构、服务定义和协议规范三个方面进行了定义。它定义了一个七层模型，用于进行进程之间的通信，并作为一个框架来协调各层标准的制定；OSI 的服务定义描述了各层所提供的服务，以及层与层之间的抽象接口和交互用的服务原语；OSI 各层的协议规范精确地定义了应当发送何种控制信息以及应该通过何种过程对此控制信息进行解释。

(1) 七层结构。OSI/RM 将系统分成了七层，从下到上分别为物理层 (Physical Layer, PHL)、数据链路层 (Data Link Layer, DLL)、网络层 (Network Layer, NL)、传输层 (Transport Layer, TL)、会话层 (Session Layer, SL)、表示层 (Presentation Layer, PL) 和应用层 (Application Layer, AL)。

(2) 数据传递过程。分层模型是对系统功能进行的抽象划分，那么，系统中两台主机之间的信息又是如何通过这些分层结构进行流通的呢？在介绍每层的具体功能之前，先介绍分层模型中数据的传递过程，如图 3.2 所示。

① OSI 中使用的数据单元。在 OSI 参考模型中用到的数据单元有以下几种。

- 服务数据单元 (Service Data Unit, SDU)：指第 N 层中等待传送和处理的数据单元。
- 协议数据单元 (Protocol Data Unit, PDU)：指同等层水平方向上传送的数据单元。
- 接口数据单元 (Interface Data Unit, IDU)：指在相邻层接口之间传送的数据单元，它是由 SDU 和一些控制信息组成的。

② 数据传递过程。如图 3.3 所示，数据在发送端从上到下逐层传递，在传递过程中，每层都要加上适当的控制信息 (头部)，即图中的 AH、PH、SH、TH、NH、DH 及 DT (数据链路层加的尾部)。到物理层转换成为由“0”、“1”组成的比特流，然后转换为电信号在物理介质上传输至接收端。在接收端逐层向上传递时，过程正好相反，要逐层剥去发送端相应层加上的头部控制信息。对任意一层来说，都不会收到其下各层的控制信息，而其上各层的控制信息对它来说只是透明的数据，所以它只需将本层的控制信息剥离出来，并按

照信息指示进行相应的协议操作即可，如图 3.3 所示。

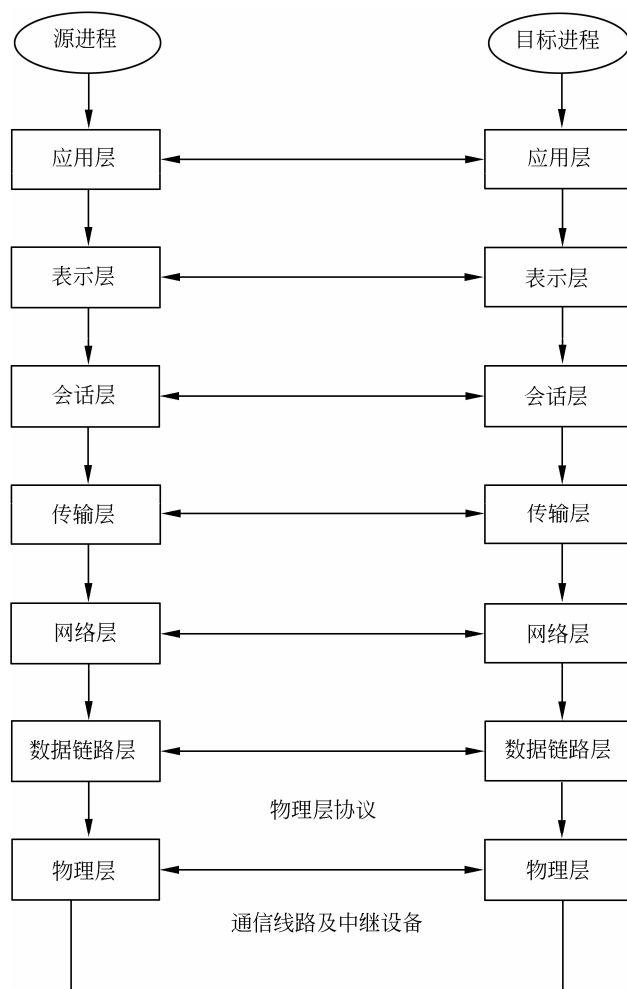


图 3.2 OSI 参考模型

2) 各层功能概述

(1) 物理层。物理层是数据终端设备（DTE，希望通过网络进行互连的设备，即入网设备，包括计算机、终端等）和数据电路终端设备（DCE，网络中含有的通信设备，即网内设备，包括通信处理机等）之间的接口。物理层定义了建立、维护和拆除物理链路所需的机械、电气、功能和规程特性，其目的是在物理介质上传输原始的数据比特流。

- 机械特性：接口部件的尺寸、规格、插脚数和分布等。
- 电气特性：接口部件的信号电平、阻抗、传输速率等。
- 功能特性：接口部件信号线（数据线、控制线、定时线等）的用途。

- 规程特性：接口部件的信号线建立、维持、释放物理连接和传输比特流的时序。

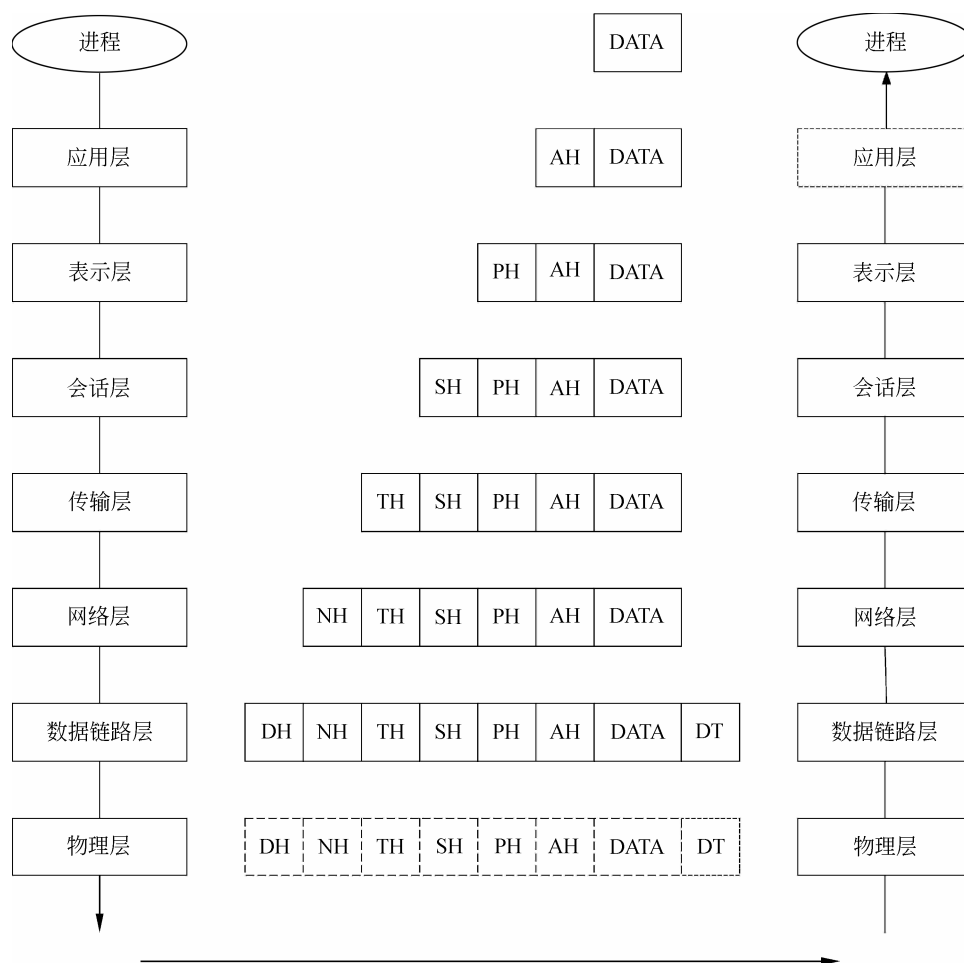


图 3.3 OSI 模型数据传递过程

物理层要实现实体之间的按位传输，保证按位传输的正确性，并向数据链路层提供透明的比特流传输。但物理层仅仅负责将比特流从一台计算机传输到另一台计算机，并不关心这些比特的含义。物理介质可以选择光纤、同轴电缆、双绞线、红外线等。介质的选择主要取决于用户需要以多快的速率将数据传输多远。

(2) 数据链路层。物理层的目的是提供可靠的比特流传输，不考虑这些比特之间的联系，以及所传输数据的结构。因而在物理层中无法解决数据传输过程中发生的异常情况、差错控制和恢复以及信息格式等问题。数据链路层是建立在物理层基础上的，通过使用物理层提供的服务，建立通信联系，将比特流组织成名为帧的协议数据单元进行传输。帧中

除了包含上层传递来的数据之外，还包括一些地址、控制以及校验码信息。两个系统中的数据链路层通过这些控制信息，实现停止等待协议和窗口等流量控制机制和差错处理机制，对物理设备的传输速率进行匹配，在比特流传输的基础上实现相邻节点间的可靠数据传输。

IEEE 将数据链路层进一步划分成了两个子层：介质访问控制（MAC）子层和逻辑链路控制（LLC）子层。这两个子层分担了数据链路层的功能。其中，LLC 子层与网络层相邻，是 MAC 子层的上一层。LLC 子层具有差错控制、流量控制等功能，负责实现数据帧的可靠传输。MAC 子层主要负责实现共享信道的动态分配。控制和管理信道的使用，保证多个用户能向共享信道发送数据，并能从共享信道中识别并正确接收到发送给自己的数据。

（3）网络层。数据链路层只实现了相邻节点间的可靠通信，而源节点和目的节点之间的信息通道往往是由很多中间节点构成的网络，在这种复杂网络中使用适当的路由选择算法为数据选路，建立逻辑链路进行分组传输，以实现网络互联则是网络层的功能。另外，为了避免通信子网中出现过多的分组而造成网络阻塞，还要对流入的分组数量进行控制。当分组要跨越多个通信子网才能到达目的地时，还要解决网际互联的问题。

对路由选择算法的基本要求是正确、简单、健壮、稳定和公平。拥塞控制首先是要通过选择适当的路由算法，防止大量信息堆积在一条链路上延误信息的传递；同时如果信息堆积过多，还要考虑通过丢弃部分分组等方式减少信息的拥塞量。

物理层、数据链路层和网络层是七层协议的基础层次，也是目前最为成熟的三个层次。无论是在广域网还是局域网上，都是以这几个层次为基础的。它们主要是面向数据通信的，因此基于这三层通信协议构成的网络通常被称为通信网络或通信子网。

（4）传输层。在网络层，可能产生整包的数据差错，无法保证端到端传输的可靠性。传输层则通过对数据单元错误、数据单元次序以及流量控制等问题的处理为用户提供了可靠的端到端服务。传输层处于分层结构体系高低层之间，是高低层之间的接口，是非常关键的一层。

为了实现可靠的端到端数据传输，传输层主要采用了以下技术手段。

分流技术：利用多条网络连接来支持一条信道的数据传输，提高数据传输速率，使得具有低吞吐量、低速率和高传输延迟的网络能够满足高速数据的传输要求。

复用技术：将多条信道上的数据汇集到一条网络连接上传输，使得具有高吞吐量、高速率和低传输延迟、高费用的网络能够支持用户的低传输成本要求。

差错检测与恢复：使差错率较高的网络能够满足用户对高可靠性数据传输的要求。

流量控制：对连续传输的协议数据单元个数进行限制，避免网络拥塞。

（5）会话层。会话层是进程与进程间的通信协议，主要功能是组织和同步不同主机上各种进程间的通信。会话层负责在两个会话层实体之间进行对话连接的建立和拆除。为了建立会话，该层执行了名称及用户权限识别功能。

（6）表示层。表示层在网络需要的格式和计算机可处理的格式之间进行数据翻译。表

示层执行协议转换、数据翻译、压缩与加密、字符转换以及图形命令的解释功能。

(7) 应用层。应用层包含利用网络服务的应用程序进程以及应用程序接口 (API)，应用层提供的服务包括文件服务、数据库服务、电子邮件及其他网络软件服务。

2. TCP/IP 参考模型

1) TCP/IP 参考模型的基本概念

传输控制协议/网际协议 (Transfer Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP)，又称为网络通信协议，这个协议是国际互联网 (Internet) 的基础。

TCP/IP 是网络中使用的基本的通信协议。虽然从名称上看 TCP/IP 似乎只包括两个协议，即传输控制协议 (TCP) 和网际协议 (IP)，但实际上 TCP/IP 是一组协议的集合。它包括上百个各种功能的协议，如 TCP、IP、UDP、ICMP、RIP、Telnet、FTP、SMTP、ARP 及 TFTP 等。而 TCP 和 IP 是保证数据完整传输的两个基本的重要协议。通常所说的 TCP/IP 是指 Internet 协议簇，而不仅是 TCP 和 IP。Internet 是目前国际上规模最大的计算机网络，由于 Internet 的广泛使用，使得 TCP/IP 成为了事实上的标准。

TCP/IP 并不完全符合 OSI 的七层参考模型。传统的开放系统互连参考模型采用了七层结构，而 TCP/IP 通信协议采用了四层的层级结构，每一层都使用它的下一层所提供的服务来完成本层的功能。这四层从下往上依次是网络接口层 (Network Interface Layer)、网络层 (Internet Layer)、传输层 (Transport Layer) 和应用层 (Application Layer)。

- 网络接口层：这是 TCP/IP 参考模型的最低层，负责对实际的网络媒体进行管理，接收 IP 数据报并通过网络将其发送出去。或者从网络上接收帧，剥离出 IP 数据报，交给网络层。
- 网络层：负责数据的转发和路由，保证数据报到达目的主机。
- 传输层：负责传送数据。并且确定数据已被送达并接收。
- 应用层：向用户提供常用的应用程序。

TCP/IP 参考模型要完成 OSI 七层模型的任务。模型中互相对应的部分由 TCP/IP 协议族中相关的协议实现。其他部分 (如会话层和表示层) 的功能由用户实现。TCP/IP 参考模型是在 TCP/IP 协议族逐渐丰富起来以后才提出的。

TCP/IP 参考模型和 OSI/RM 的数据传递过程类似。用户数据单元从应用程序向下传送，通过 TCP/IP 参考模型各层时，每层都会在数据单元上加上相应的头部或尾部。在接收端，由对等层将这些头尾部剥离出来，并根据其中的信息对数据单元进行相应的处理。

2) 与 OSI 参考模型的比较

TCP/IP 参考模型和 OSI 参考模型的目的和实现的功能都一样，本质上它们都采用了分层结构，并在层间定义了标准接口。上层使用下层提供的服务，但下层提供服务的方式对上层来说是透明的。对等层间采用协议来实现相应的功能。这两种模型在层次划分上也有相似之处。但这两种模型的提出是相互独立的，出发点也不同，因此在使用上有很大的不

同。TCP/IP 参考模型和 OSI 参考模型的比较，如图 3.4 所示。



图 3.4 OSI 模型与 TCP/IP 模型对比

OSI 参考模型理论比较系统、全面，对具体实施有一定的指导意义，但是与具体实施还有很大的差别，要完整地实现 OSI 参考模型所规定的所有功能是非常困难的；TCP/IP 参考模型则是在实践中逐步发展而来的。TCP/IP 和互联网的发展相辅相成，现在不仅在 Internet 中，而且在局域网中也开始应用 TCP/IP。但是由于 TCP/IP 由实际应用发展而来，缺乏统一的规划，层次划分并不十分清晰和确定，在今后的发展过程中还会有所调整。

3. 各层常用协议简介

1) 物理层

物理层协议有很多种，其中得到广泛使用的有 RS-232C、RS-499、V.35、X.21 和 X.21bit，以及各种局域网的物理层标准等。

2) 数据链路层

常用的数据链路层协议包括以下几种：

(1) 局域网数据链路协议。各种不同的局域网中 LLC 子层的功能基本相同，不同的是 MAC 子层。在 IEEE 802 系协议中，IEEE 802.2 定义了 LLC 子层的相关内容，而 IEEE 802.3、IEEE 802.4、IEEE 802.5 和 IEEE 802.8 则分别定义了 CSMA/CD、令牌总线、令牌环、FDDI 等网络中的 MAC 子层规范。

(2) 面向字符的数据链路控制规程。面向字符的同步协议是最早提出的同步协议，其典型代表是 IBM 公司的二进制同步控制规程 (Binary Synchronous Communication, BSC)。为了实现建链、拆链等链路管理以及同步功能，BSC 采用了 ASCII 或 EBCDIC 字符集中的字符，并在此字符前增加一个转义字符，以形成特殊的控制字符组，控制数据的传输过程。

BSC 的实现只需要很少的缓存容量。规程简单，易于实现。它最大的缺点是它和特定的字符编码集关系过于密切。不利于兼容。而且 BSC 是个半双工协议，链路传输效率很低。

(3) 面向比特的数据链路控制规程。在这类规程中，最典型的的就是高级数据链路控制规程 (HDLC)。通过在帧结构中设置相应的控制字段，提高了数据传输的效率，比面向字符型的控制规程更优越。

在 HDLC 中，每帧的开始和结束处都有个标志字段 (01111110)。用来标识帧的开始和结束，并对帧进行同步。在帧内部采用了“零比特填充法”，防止在数据字段中出现与标志字段相同的内容，以实现数据的透明传输。

HDLC 使用了一个 8b 的控制字段。通过它，以编码的方式定义了丰富的控制命令，完成了 BSC 协议中众多传输控制字符和转义字符的功能。

支持全双工工作方式，采用窗口和捎带应答机制，允许在未收到确认的情况下，连续发送多个帧，提高了信息传输的效率。

采用了帧校验序列，并设置了窗口序号，提高了信息传输的正确性和可靠性。

从另外一个角度来看，在 TCP/IP 协议族中对应于数据链路层功能的协议还包括 SLIP、PPP、ARP、RARP 等。

- 串行线路因特网协议 (Serial Line Internet Protocol, SLIP): 是面向低速串行线路的点对点协议，现已逐渐被功能更好的点对点协议 (PPP) 所取代。
- 点对点协议 (Point to Point Protocol, PPP): 是 IETF 推出的在点到点类型线路上使用的数据链路层协议，它解决了 SLIP 中存在的问题。
- 地址解析协议 (Address Resolution Protocol, ARP): 为已知的 IP 地址确定相应的 MAC 地址。
- 反向地址解析协议 (Reverse Address Resolution Protocol, RARP): 根据 MAC 地址确定相应的 IP 地址。

3) 网络层

曾经得到广泛应用以及现在常用的网络层协议包括 X.25 分组层协议、IPX、IP、ICMP、IGMP、RIP、OSPF、BGP 等。

(1) X.25 的分组层: X.25 是原 CCITT (现 ITU-T) 提出的，定义了终端和计算机到分组交换网络的连接。X.25 协议定义了对应于 OSI 低三层的功能，如物理层的 X.21 协议，数据链路层的 LAP-B 协议 (HDLC 协议的一部分)，以及 X.25 的分组层协议。X.25 的分组层协议定义了通过分组交换网络的可靠虚电路传输。

(2) 互联网分组交换 / 顺序分组交换 (Internetwork Packet Exchange/Sequential Packet Exchange, IPX/SPX): Novell 公司提出的用于客户机 / 服务器相连的网络协议。使用 IPX/SPX 能运行通常需要 NetBEUI 支持的程序，通过 IPX/SPX 可以跨过路由器访问其他网络。

(3) 网际协议 (Internet Protocol, IP): IP 是 TCP/IP 的心脏，也是网络层中最重要的

协议，负责在网络内的寻址和数据报的路由。

（4）网际控制消息协议（Internet Control Message Protocol, ICMP）：提供控制和传递消息的功能。

（5）因特网组管理协议（Internet Group Management Protocol, IGMP）运行于主机和与主机直接相连的组播路由器之间，是 IP 主机用来报告多址广播组成员身份的协议。

（6）路由信息协议（Routing Information Protocol, RIP）：最早的路由协议之一，现在仍在广泛使用。它是一种距离向量式路由协议，是内部网关协议的一种。

（7）开放最短路径优先协议（Open Shortest Path First, OSPF）：由因特网工程任务组（IETF）开发的一种内部网关协议（IGP），是一种链路状态协议。

（8）边界网关协议（Border Gateway Protocol, BGP）：不同自治系统路由器之间进行通信的外部网关协议。

4）传输层

传输层协议可以分为三类。

（1）A 类：网络连接具有可接受的差错率和故障通知率，A 类服务是可靠的网络服务，一般指虚电路服务。

（2）C 类：网络连接具有不可接受的差错率。C 类的服务质量最差，提供数据报服务或无线分组交换的网络均属此类。

（3）B 类：网络连接具有可接受的差错率和不可接受的故障通知率，B 类服务介于两者之间，广域网多提供 B 类服务。

常用的传输层协议有 TCP 和 UDP。

传输控制协议（Transmission Control Protocol, TCP）：为应用程序提供可靠的通信连接；适合于一次传输大批数据的情况，并适用于要求得到响应的应用程序。

用户数据报协议（User Datagram Protocol, UDP）：提供了无连接通信，不对传送的数据报提供可靠性保证；适合于一次传输少量数据的情况，传输的可靠性由应用层负责。

5）应用层

应用层位于协议栈的顶端，它的主要任务是提供应用程序。应用层的协议当然也是为了这些应用而设计的，常用的协议功能如下：

（1）Telnet（Teletype over the network）：提供远程登录（终端仿真）服务，运行在 TCP 上。

（2）文件传输协议（File Transfer Protocol, FTP）：提供应用级的文件传输服务，即远程文件访问等，运行在 TCP 上。

（3）简单邮件传输协议（Simple Mail Transfer Protocol, SMTP）：用来发送电子邮件的协议，运行在 TCP 上。

（4）简单网络管理协议（Simple Network Management Protocol, SNMP）：用于网络信息的收集和 network 管理。

（5）域名服务（Domain Name Service, DNS）：提供域名和 IP 地址间的转换，用于完

成地址查找、邮件转发等工作，运行在 TCP 和 UDP 上。

(6) 超文本传输协议 (Hyper Text Transfer Protocol, HTTP): 传输用超文本标记语言 (Hyper Text Markup Language, HTML) 编写的文件, 通过此协议, 可以浏览网络上的各种信息, 在浏览器上看到丰富多彩的文字与图片。

(7) 安全超文本传输协议 (Hypertext Transfer Protocol over Secure Socket Layer, or HTTP over SSL secure version, HTTPS): 对网络中传输的数据进行加密, 可以有效地防止用户的重要信息被非法窃取。

(8) 网络时间协议 (Network Time Protocol, NTP): 用于网络同步, 运行在 UDP 上。

3.2 考试要求

了解计算机网络的主要功能, 熟悉计算机网络系统的组成, 网络体系结构的分层原理, 掌握计算机网络的分类方法, TCP/IP 参考模型及各层常用协议。

3.3 考试要点

1) 计算机网络系统组成

资源子网、通信子网、通信协议。

2) 网络分类方法

按网络跨度划分、按网络交换方式划分。

3) 分层协议模型

OSI 模型、TCP/IP 模型。

4) 各层常用协议

BSC、HDLC、SLIP、PPP、ARP、RARP、IPX、IP、ICMP、IGMP、RIP、OSPF、BGP、TCP、UDP、FTP、SNMP、DNS、HTTP、NTP、Telnet。

3.4 习题集精粹及答案

1. HDLC 是一种 () 协议。

- A. 面向比特的同步链路控制
- B. 面向字节计数的异步链路控制
- C. 面向字符的同步链路控制
- D. 面向比特流的异步链路控制

试题解析:

常识。

答案：A。

2. 在 OSI 参考模型中，上层协议实体与下层协议实体之间的逻辑接口叫做服务访问点（SAP）。在 Internet 中，网络层的服务访问点是（ ）。

- A. MAC 地址 B. LLC 地址 C. IP 地址 D. 端口号

试题解析：

此题引用了 ISO OSI/RM 的服务访问点的概念，但问的却是 TCP/IP 参考模型的知识，因为 Internet 使用的是 TCP/IP 协议。

在 TCP/IP 参考模型中，网络接口层的 SAP 是 MAC 地址；在网际层（也可称为网络层）使用的协议主要是 IP 协议，其 SAP 便是 IP 地址；而传输层使用的主要协议为 TCP 和 UDP，TCP 使用的 SAP 为 TCP 的端口号，UDP 使用的 SAP 为 UDP 的端口号。

答案：C。

3. 在 OSI 参考模型中，实现端到端的应答、分组排序和流量控制功能的协议层是（ ）。

- A. 数据链路层 B. 网络层 C. 传输层 D. 会话层

试题解析：

此题主要考查了 ISO OSI/RM 体系结构中各层的主要功能。

- 物理层：物理层主要是设计处理机械的、电气的和过程的接口，以及物理层下的物理传输介质等问题。
- 数据链路层：负责在两个相邻节点间的线路上，无差错地传送以帧（Frame）为单位的数据以及流量控制信息，即差错控制、流量控制、帧同步。
- 网络层：主要是确定数据报（Packet）从发送方到接收方应该如何选择路由，以及拥塞控制、数据报的分片与重组。
- 传输层：负责两个端节点之间的可靠网络通信和流量控制，即面向连接的通信、端到端的流量控制、差错控制。
- 会话层：建立、管理和终止应用程序会话和管理表示层实体之间的数据交换。
- 表示层：翻译、加解密、压缩和解压。
- 应用层：提供了大量容易理解的协议，允许访问网络资源。

答案：C。

4. 若采用后退 N 帧 ARQ 协议进行流量控制，帧编号字段为 7 位，则发送窗口的最大长度为（ ）。

- A. 7 B. 8 C. 127 D. 128

试题解析：

本题考查后退 N 帧 ARQ 协议知识。

后退 N 帧 ARQ 协议的发送窗口 $W \leq \text{编号个数} - 1$ ，编号个数为 7 位即为 128 个，所以发送窗口的最大长度为 $W = 128 - 1 = 127$ 。

答案：C。

5. 在 ISO OSI/RM 中，（ ）实现数据压缩功能。

- A. 应用层 B. 表示层 C. 会话层 D. 网络层

试题解析：

此题主要考查了 ISO OSI/RM 体系结构中各层的主要功能。

- 应用层：直接面向用户和应用程序，提供文件下载、电子邮件等方面的服务。
- 表示层：提供数据格式翻译、数据加密与解密、数据压缩与解压缩的服务。
- 会话层：提供增强会话服务。
- 网络层：提供路由选择、数据报分片与重组、拥塞控制等服务。

答案：B。

6. 以太网中的帧属于（ ）协议数据单元。

- A. 物理层 B. 数据链路层 C. 网络层 D. 应用层

试题解析：

常识。

答案：B。

7. 在 OSI 参考模型中，数据链路层处理的数据单位是（ ）。

- A. 比特 B. 帧 C. 分组 D. 报文

试题解析：

此题主要考查了 ISO OSI/RM 体系结构中各层传输的数据单元名称。

- 物理层：比特流（Bit Stream）。
- 数据链路层：数据帧（Frame）。
- 网络层：数据分组，或数据报（Packet）。
- 传输层：报文，或段（Segment）。
- 会话层：只是会话链接，没有确定名称。
- 应用层：没有确定名称。

答案：B。

8. 下列关于 1000Base-T 的叙述中错误的是（ ）。

- A. 可以使用超 5 类 UTP 作为网络传输介质
- B. 最长的有效距离可以到达 100m
- C. 支持 8B/10B 编码方案
- D. 不同厂商的超 5 类系统之间可以互用

试题解析：

1000Base-T 是 802.3ab 千兆以太网标准，支持全双工传输方式，传输距离最长可以达到 100m。1000Base-T 使用 5 类或者更好的 UTP 作为传输介质，不同厂商的超 5 类系统之间可以互用。故 A、B 和 D 选项说法是正确的。

不同于 1000Base-LX、1000Base-CX 和 1000Base-SX 所使用的 8B/10B 编码/译码方案和信号驱动电路，1000Base-T 采用采用其他专门的编码/译码方案及特殊的信号驱动电路。所以 C 选项说法错误。

答案：C。

9. 与多模光纤相比较，单模光纤具有（ ）等特点。

- A. 较高的传输速率，较长的传输距离、较高的成本
- B. 较低的传输速率，较短的传输距离、较高的成本
- C. 较高的传输速率，较短的传输距离、较低的成本
- D. 较低的传输速率，较长的传输距离、较低的成本

试题解析：

常识。

答案：A。

10. 以下协议中属于传输层的是（ ）。

- A. UCP
- B. UDP
- C. TDP
- D. TDC

试题解析：

常识。

答案：B。

3.5 本章练习

一、单项选择题

1. （ ）协议可以根据已知的 IP 地址确定 MAC 地址。
 - A. RARP
 - B. ARP
 - C. PPPoE
 - D. TCP
2. 在计算机网络中，（ ）负责实现分组的路由选择功能。
 - A. 网络层
 - B. 物理层
 - C. 数据链路层
 - D. 应用层
3. 在通信进行的过程中，采用（ ）交换方式不可以使参与通信的用户共享通信信道。
 - A. 分组
 - B. IP
 - C. 电路
 - D. ATM
4. 协议是（ ）为了完成本层的功能而必须遵循的通信规则和约定。
 - A. 相同系统上下层之间
 - B. 相同系统对等层之间
 - C. 不同系统上下层之间
 - D. 不同系统对等层之间
5. 在计算机网络的层次结构中，第 N 层通过它的服务访问点向（ ）提供服务。
 - A. 最底层
 - B. 第 $N-1$ 层
 - C. 第 N 层
 - D. 第 $N+1$ 层

二、填空题

1. 通信网络中, 会划分资源子网和_____。它是由_____、_____、_____通信协议构成的网络。
2. 计算机网络通常由_____、_____和_____组成。
3. 根据计算机网络覆盖的范围, 可以将网络分为_____、_____和_____。
4. 分组交换的工作方式可以细分为_____和_____。
5. 计算机网络中, _____和_____是传输层协议。

三、是非判断题

1. 会话层负责在网络需要的格式和计算机可处理的格式之间进行数据翻译。()
2. OSI 参考模型和 TCP/IP 参考模型一样, 都是七层结构。()
3. 计算机网络的主要功能包括硬件共享、软件共享和数据传输。()
4. TCP/IP 只包含了 TCP 和 IP。()
5. 传输层实现了可靠的端到端数据传输。()

四、简答题

1. 对计算机网络进行层次划分需要遵循哪些原则?
2. 简述网络协议中分层的作用。
3. 简述虚电路服务与数据报服务的区别。
4. 数据链路层的主要功能是什么?
5. 协议与服务有何区别, 有何关系?

3.6 计算机网络与协议答案

一、单项选择题

1. B 2. A 3. C 4. D 5. D

二、填空题

1. 通信子网 物理层 数据链路层 网络层
2. 资源子网 通信子网 通信协议
3. 局域网 城域网 广域网
4. 数据报交换 虚电路交换
5. TCP UDP

三、判断题

1. × 2. × 3. √ 4. × 5. √

四、简答题

1.

答: (1) 各层功能明确。即每一层的划分都应有自己明确的、与其他层不同的基本功

能。这样在某层的具体实现方法或功能发生变化时，只要保持与上层、下层的接口不变，就不会对其他各层产生影响。

（2）层间接口清晰。应尽量减少跨过接口的通信量。

（3）层数适中，层数应足够多，以避免不同的功能混杂在同一层中，但也不能太多，否则体型结构会过于庞大，增加各层服务的开销。

（4）网络中各节点都具有相同的层次；不同节点的同等层具有相同的功能。

2.

答：网络协议之所以分层描述，是由于在实际的计算机网络中，两个实体之间的通信情况非常复杂，为了降低通信协议实现的复杂性，而将整个网络的通信功能划分为多个层次（分层描述），每层各自完成一定的任务，而且功能相对独立，这样实现起来较容易。

3.

答：（1）在传输方式上，虚电路服务在源、目的主机通信之前，应先建立一条虚电路，然后才能进行通信，通信结束应将虚电路拆除。而数据报服务，网络层从运输层接收报文，将其装上报头（源、目的地址等信息）后，作为一个独立的信息单位传送，不需建立和释放连接，目标节点收到数据后也不需发送确认，因而是一种开销较小的通信方式。但发方不能确切地知道对方是否准备好接收，是否正在忙碌，因而数据报服务的可靠性不是很高。

（2）关于全网地址，虚电路服务仅在源主机发出呼叫分组中需要填上源和目的主机的全网地址，在数据传输阶段，都只需填上虚电路号。而数据报服务，由于每个数据报都单独传送，因此，在每个数据报中都必须具有源和目的主机的全网地址，以便网络节点根据所带地址向目的主机转发，这对频繁的人-机交互通信每次都附上源、目的主机的全网地址不仅累赘，也降低了信道利用率。

（3）关于路由选择，虚电路服务沿途各节点只在呼叫请求分组在网中传输时，进行路径选择，以后便不需要了。可是在数据报服务时，每个数据每经过一个网络节点都要进行一次路由选择。当有一个很长的报文需要传输时，必须先把它分成若干个具有定长的分组，若采用数据报服务，势必增加网络开销。

（4）关于分组顺序，对虚电路服务，由于从源主机发出的所有分组都是通过事先建立好的一条虚电路进行传输的，所以能保证分组按发送顺序到达目的主机。但是，当把一份长报文分成若干个短的数据报时，由于它们被独立传送，可能各自通过不同的路径到达目的主机，因而数据报服务不能保证这些数据报按序列到达目的主机。

（5）可靠性与适应性，虚电路服务在通信之前双方已进行过连接，而且每发完一定数量的分组后，对方也都给予确认，故虚电路服务比数据报服务的可靠性高。但是，当传输途中的某个节点或链路发生故障时，数据报服务可以绕开这些故障地区，而另选其他路径，把数据传至目的地，而虚电路服务则必须重新建立虚电路才能进行通信。因此，数据报服务的适应性比虚电路服务强。

（6）关于平衡网络流量，数据报在传输过程中，中继节点可为数据报选择一条流量较

小的路由，而避开流量较高的路由，因此数据报服务既平衡网络中的信息流量，又可使数据报得以更迅速地传输。而在虚电路服务中，虚电路建立后，中继节点是不能根据流量情况来改变分组的传送路径的。

4.

答：数据链路层最基本的服务是将源计算机网络层送来的数据可靠地传输到相邻节点的目标计算机的网络层。为达到这一目的，数据链路层必须具备一系列相应的功能，主要有如何将数据组合成数据块（在数据链路层中将这种数据块称为帧，帧是数据链路层的传送单位）；如何控制帧在物理信道上的传输，包括如何处理传输差错，如何调节发送速率以使之与接收方相匹配；在两个网络实体之间提供数据链路的建立、维持和释放管理。

5.

答：首先，协议的实现保证了能够向上一层提供服务，使用本层服务的实体只能看见服务而无法看见下面的协议。下面的协议对上面的实体是透明的。

其次，协议是“水平的”。即协议是控制对等实体之间通信的规则，但服务是“垂直的”，即服务是由下层向上层通过层间接口提供的。另外，并非在一个层内完成的全部功能都能被称为“服务”，只有那些能够被高一层实体看见的功能才能被称为“服务”。