

第 2 章 网络协议与体系结构

学习目标

- ◆ 了解网络协议与体系结构
- ◆ 熟悉 OSI 模型各层功能
- ◆ 熟悉 OSI 通信流程
- ◆ 熟悉 TCP/IP 参考模型
- ◆ 了解 IP 地址的分类
- ◆ 掌握 IP 地址的配置方式

计算机网络是一个非常复杂的系统，在技术层面上，它涉及计算机技术、通信技术、多媒体技术等多个领域；在地理范围上，它的用户、设备遍布全球。若想保证这样一个复杂的系统能够高效、可靠地运行，系统中的每一部分必须有合理的分工，且要遵守严谨的规则。协议与体系结构就是计算机网络各部分遵循的规则与分工原则。本章将从基础概念入手，对计算机网络中常见的协议和体系结构进行讲解。

2.1 了解协议与体系结构

为了帮助读者理解计算机网络的协议和体系结构，在讲解之前，本节先对计算机网络协议与体系结构的概念以及相关知识进行讲解。

2.1.1 网络协议概述

从本质上讲，协议就是规则。规则的存在是为了保障系统的正常、高效运行，如在交通系统中，行人、车辆需要遵循交通规则，以保障道路畅通；在社会生活中，人们遵循相同的法律法规，以保障社会稳定；在交流时，人们使用相同的语言，以保障正常沟通。为了保障计算机能够正常、稳定、高效地通信，网络中的计算机之间也需遵循同一套规则，即网络协议。

在计算机网络中，协议是用于规定信息的格式、发送/接受信息的方式的一套规则，它主要由语法、语义和时序三个要素组成，这三个要素的含义如下：

- 语法。语法即数据与控制信息的结构或格式，即通信双方“如何讲”。
- 语义。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相应，即通信双方准备“讲什么”。
- 时序。时序又称为同步，即事件实现顺序的详细说明，即在实现操作时先做什么，后做什么。

协议还具有以下特点：

- (1) 协议必须是清晰的，每一步都要明确定义，且不会引起误解；
- (2) 协议涉及的每个用户都必须了解协议，且预先知道需要完成的所有步骤；
- (3) 协议涉及的每个用户都必须同意并遵守它。

网络协议的制定是为了保障通信双方或多方更好地协同工作，它作用在网络通信与数据交换的整个流程。网络的组成非常复杂，因此基于网络的通信与数据交换过程也是十分复杂的。为了给这个复杂的过程制定相对合理、完善的协议，人们着手研究网络的体系结构，以便在统一的指导原则之下进行网络的设计、建造与使用。

2.1.2 网络体系结构概述

体系结构是对系统各部分组成和相互关系进行研究的学科。网络的设计、建造与使用不仅涉及硬件设备，也涉及软件，其中硬件设备用于搭建物理环境，软件在物理环境的基础上，实现网络通信与数据交换的功能。为了保证物理环境中各环节的硬件设备能够协同工作，硬件设备的生产与使用标准应得以统一；为了保证软件能够适应网络，软件的开发也应遵循预定的规则，此外，所有的软件都应遵循网络协议，实现基于硬件环境的网络通信。

简而言之，网络协议需要对网络中的硬件、软件以及软硬件的协同方式与整个通信流程都做出规定。为了将复杂的问题简单化，人们考虑使用分治法，将网络系统模块化，按层次组织各模块，为网络的不同层次制定各自的协议。这就是对网络、网络协议的分层，即网络的体系结构。

1、分层的优点

采用分层的体系结构描述网络有以下优点。

(1) 有利于标准化的促进。网络分层后可有针对性地为各层制定协议，网络使用的协议随着层次的划分被分割，每层的协议只需对该层的功能与提供的服务进行规定。

(2) 层与层之间相互独立。网络中的各层负责实现一定的功能，提供与其上层交互的接口；各层不关心下层如何实现，仅使用下层提供的服务（即通过下层提供的接口获取下层功能对本层的支持）。

(3) 灵活性好。各层可选择最优技术实现本层功能；当网络中的某些功能需要改进时，只需保证层次间接口不变，对功能涉及的网络中的部分层次进行维护，无需调整整个网络。

2、层次间的关系

网络中的各层实现一定的功能，各层之间通过下层接口实现交互，进而实现完整的网络通信与数据交换功能。相邻层之间的关系如图 2-1 所示。

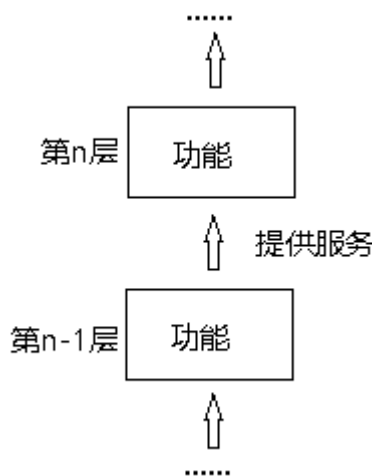


图2-1 相邻层次关系

网络各层制定的协议由本层的使用者共同遵守，相同层次的使用者方可互相理解本层中信息的含义。计算机网络的层次模型如图 2-2 所示。

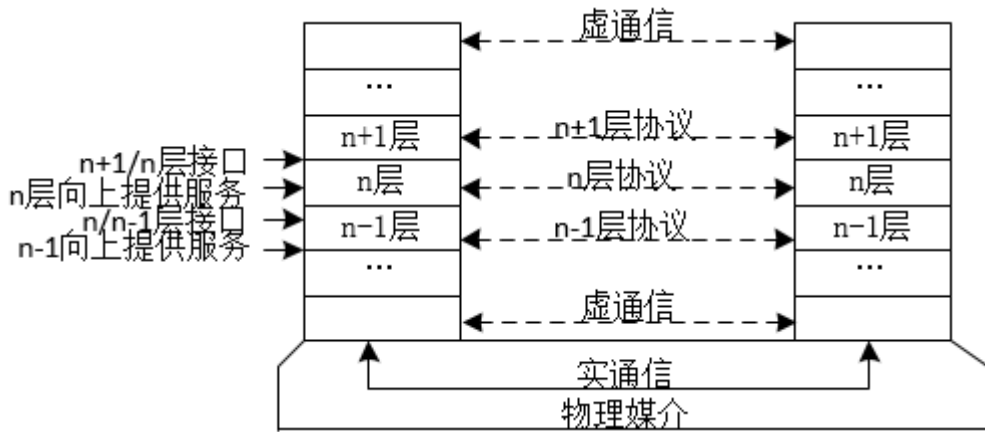


图2-2 计算机网络的层次模型

3、节点通信流程

计算机网络的层次模型是对网络通信步骤的抽象，在具体实现中，每一层都会产生负责实现某项功能的实体。实体分为硬件实体和软件实体，硬件实体指网络中实现物理环境中某项功能的硬件设备；软件实体指某次网络通信中实现某项功能的进程。

使用计算机网络的个体称为节点，通过网络进行交互的不同节点上同一层的实体称为对等实体。例如，在节点 A 与节点 B 通过网络进行通信时，节点 A 第三层的进程与节点 B 第三层的进程就是对等实体。

当然在实际通信中，对等实体之间只是遵守相同的协议，并不直接进行数据传输。数据总是从一个节点的最高层出发，自顶向下到达节点最底层后沿着物理媒介传输到另一个节点，并从该节点的底层到达最高层。节点间实体的通信模型如图 2-3 所示。



图2-3 节点间实体通信模型

4、层次关系举例

随着网络的普及，网购成为人们的主要消费方式之一，与其相辅相成的物流行业也走进了人们的生活。此处将以物流系统为例对层次关系进行说明。

在物流系统中，物品从用户 A 手中到达用户 B 手中经过以下流程。

- (1) A 城用户 A 向物流公司下单，通知物流公司取件。
- (2) 物流公司派出快递员 A 取件，快递员 A 收件并将其打包，附上寄/收件信息，送到货仓。
- (3) 物流公司将货仓的包裹按收件地址分拣，由货运员 A 将包裹送往运输部门。
- (4) 运输部门将包裹从 A 城运送到 B 城。
- (5) B 城的货运员 B 从运输部门将包裹送到货仓，交由分拣员分拣。
- (6) 快递员 B 取得包裹，按照收件信息将包裹送给用户 B。
- (7) 用户 B 拿到包裹，拆开包装，取得物品。

以上流程如图 2-4 所示。

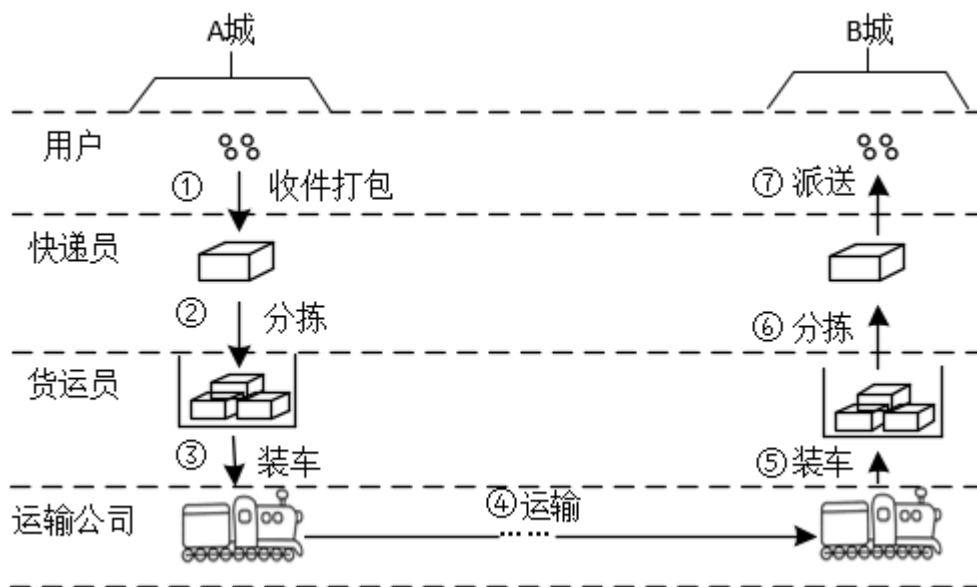


图2-4 物品运输流程

由图 2-4 可知，物品运输流程大致可划分为 4 层，这 4 层自顶向下依次为：

- (1) 用户 A 与用户 B 所处层次（第 4 层）；
- (2) 快递员 A 与快递员 B 所处层次（第 3 层）；
- (3) 货运员 A 与货运员 B 所处层次（第 2 层）；

(4) 运输公司所在层次（第1层）。

其中用户、快递员、货运员、运输公司的运输工具依次为物流模型自顶向下各层的实体，它们遵循相同的规则。物流系统中的各层都实现一定的功能，其中第1层的运输公司负责物品的跨地域运输；第2层的货运员负责物品的短距离运输；第3层的快递员负责物品的收取与派送；第4层的用户仅负责提供/收取物品。

物流系统中各层只需对本次实现的功能负责，并向上层提供服务，只要这两点得到满足，整个系统便可正常运行。物流系统的分层管理简化了物流系统的结构，整个系统的效率得到了提升。

2.2 OSI 与 TCP/IP

常见的体系结构有 OSI（Open System Interconnect，简称开放式系统互联模型）和 TCP/IP（Transmission Control Protocol/Internet Protocol，传输控制协议/互联网协议模型）。

OSI 由国家标准协会 ISO 制定，共分为七层，由上而下依次为应用层、表示层、会话层、传输层、网络层、数据链路层和物理层，虽然 OSI 由 ISO（International Organization for Standardization，国际标准化组织）制定，但其实用性较差，并未得到广泛应用。

在 OSI 诞生时，Internet 已实现了全世界的基本覆盖，因此市面上应用最广泛的体系结构为 Internet 中使用 TCP/IP 体系结构，该结构包含四层，分别为应用层、传输层、网际层和网络接口层。

这两种体系结构中各层的对应关系如图 2-5 所示。

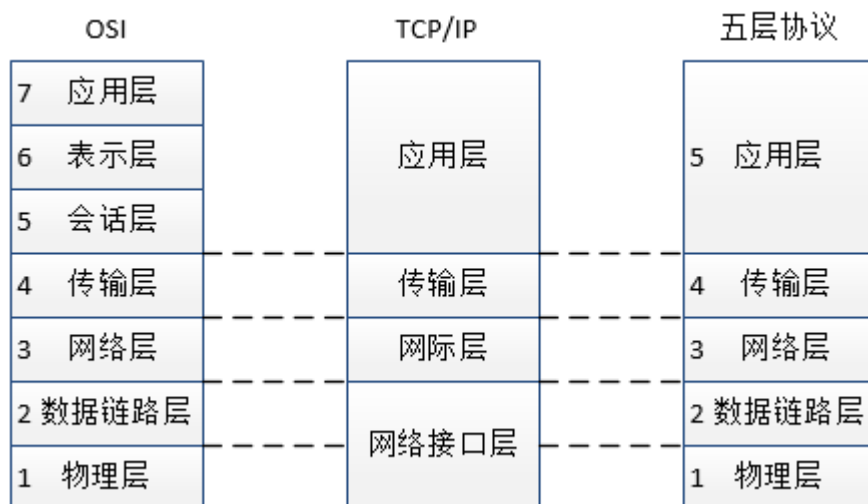


图2-5 体系结构层次关系

图 2-5 中还展示了一种五层协议体系结构，该结构结合 OSI 和 TCP/IP 的优点，分为应用层、传输层、网络层、数据链路层和物理层，常用于计算机网络中对 TCP/IP 参考模型的阐述。

这些体系结构在划分层次时都遵循以下原则：

- 网络中各节点都有相同的层次。
- 不同节点的同等层具有相同的功能。
- 同一节点内相邻层之间通过接口通信。
- 每一层使用下层提供的服务，并向其上层提供服务。
- 不同节点的同等层按照协议实现对等层之间的通信。
- 根据功能需要进行分层，每层应当实现定义明确的功能。
- 向应用程序提供服务。

在之后的小节中将分别对 OSI 和 TCP/IP 参考模型进行讲解。

2.3 OSI 参考模型

本节将对 OSI 参考模型各层的功能进行详细讲解，并结合实际案例，说明基于 OSI 模型时网络的通信流程。

2.3.1 OSI 各层功能

OSI 参考模型中的 7 层自顶向下依次为应用层、表示层、会话层、传输层、

网络层、数据链路层和物理层，其参考模型如图 2-6 所示。

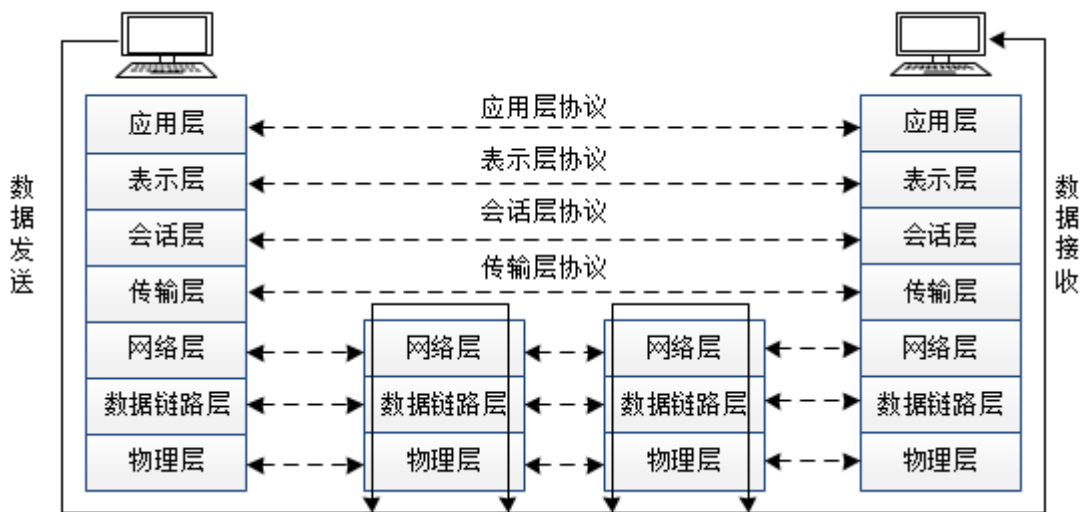


图2-6 OSI 参考模型

图 2-6 所示 OSI 参考模型中应用层、表示层、会话层统称为高三层，负责实现基于通信主机的程序级数据处理功能；网络层、数据链路层和物理层统称为低三层，负责实现基于网络设备的数据传输功能；传输层作为中间层，负责总体的数据传输和流量控制。OSI 参考模型中的高三层组成资源子网，低三层组成通信子网。下面对 OSI 参考模型中各层负责的功能进行说明。

1、应用层

应用层负责提供最终用户与网络交互的接口。人们可通过各种应用程序（如 QQ、浏览器等客户端程序，或 Web 服务器、邮件服务器、流媒体服务器等服务器程序）向网络发起请求。当然实质上应用程序是对应用层接口的封装，真正提供网络资源访问的是应用层接口。应用层向下使用表示层提供的服务。

2、表示层

表示层为在应用进程之间传递的数据提供表示方法，包括编码方式、加密方式、压缩方式等。发送端和接收端必须使用相同的数据表示方法，才能保证数据的正常显示，否则将会产生乱码。表示层向上为应用层提供服务，向下使用会话层的服务。

3、会话层

会话层负责为通信的应用程序创建、维护和释放连接，该层向下使用传输层提供的服务，使应用进程建立和维持会话（会话指应用进程之间的信息交换过程），并使会话同步。

4、传输层

传输层通过流量控制、分段/重组和差错校验等功能实现端到端之间可靠的数据传输，它向上对会话层提供可靠的数据传输服务，向下使用网络层提供的服务。

5、网络层

网络层负责实现两端之间数据的透明传送，具体功能包括逻辑寻址、路由选择以及连接的建立、保持、终止等。

6、数据链路层

数据链路层（简称链路层）负责建立逻辑连接、硬件地址寻址、差错校验等功能。链路层使用物理层提供的服务，接收来自物理层的比特流，并将比特组合成字节，进而组合成帧，在进行硬件寻址时通过 MAC 地址访问物理媒介。

7、物理层

物理层负责建立、维护和断开物理连接。物理层由光纤、电缆和电磁波等真实存在的物理媒介组成，这些物理媒介组成数据通路，以传输各种形式的物理信号。在计算机网络中，物理层传输的数据一般是比特流。物理层向上为数据链路层提供服务。

OSI 参考模型中的每一层实现特定的功能，且为上一层提供服务。当部分功能需要更改时，只需调整该模型中的一层或几层，便可实现对整个流程的更新。

分层不仅明确了通信流程，也有利于网络工作人员明确分工：

（1）软件开发人员

软件开发人员解决应用层、表示层、会话层和传输层的问题，如应用程序之间如何通信、数据以何种形式展示、通信内容是否需要加密、数据传输是否需要稳定连接等，他们不关心数据通过何种网络（局域网、广域网、无线网络等）传输，只向下要求网络畅通。

（2）网络工程师

网络工程师负责解决网络层和数据链路层的问题，包括如何配置路由器以实现数据包的路径选择、如何封装数据包使其能在不同的网络中传输等。他们不关心高三层的数据如何产生、如何封装，只向下要求物理媒介可正常工作。

（3）通信工程师

通信工程师负责解决物理层的问题，如传输媒介的研发、性能提升等，包括如何在通信线路上更快、更稳定地传输信号，他们不关心信号的类型。

网络工作人员分工如图 2-7 所示。

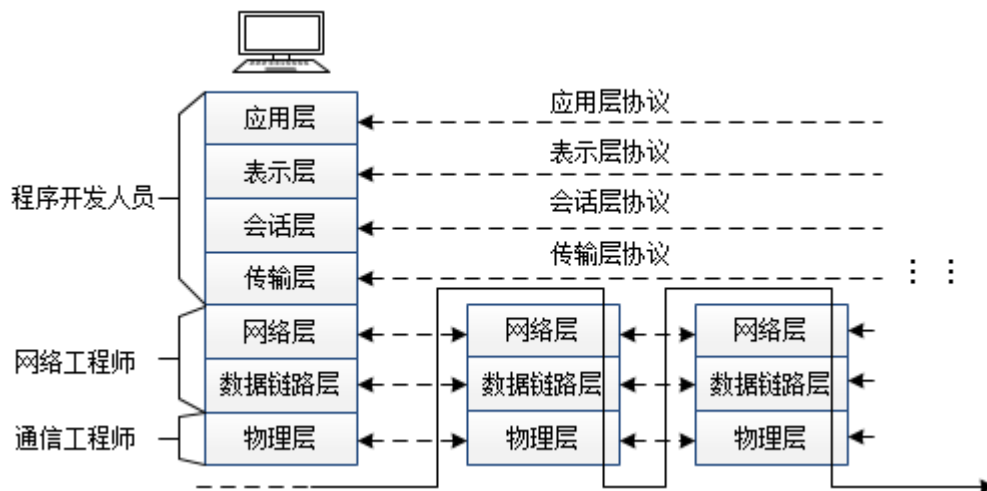


图2-7 网络工作人员分工示意图

2.3.2 OSI 通信流程

随着网络的普及，各种基于网络的应用程序层出不穷，只要使用相同的体系结构，这些应用程序便遵循相同的通信流程。为更形象地帮助读者理解基于 OSI 参考模型的数据传输流程，本节将以计算机访问网页为例对网络通信流程进行说明。

访问网页的流程如下：用户在计算机 A 中打开浏览器，在浏览器地址栏中输入网址，浏览器向网站服务器发起通信请求；网站的 Web 服务器接收到浏览器发起的请求，将指定网页返回给计算机 A 的浏览器，浏览器接收并显示请求的网页。以上过程如图 2-8 所示。

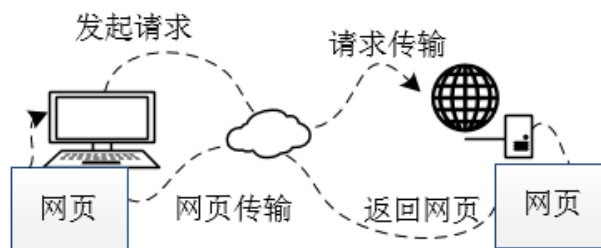


图2-8 网页访问流程

图 2-8 是用户层面可观察到的网页访问流程，该流程涉及两次 OSI 模型通信过程：第一次为用户发起请求，请求通过网络传输到 Web 服务器；第二次为 Web 服务器解析请求并发送网页，网页通过网络传输以及用户端浏览器解析网页。每次通信都可视为一次数据的发送和接收，下面以 Web 服务器到客户端浏览器的

通信为例，分析 OSI 参考模型中的数据传输流程。

1、信息发送

在 Web 服务器到客户端浏览器的通信中，服务器充当信息的发送方。根据 OSI 参考模型，服务器端返回网页时将经过七个步骤，这几个步骤分别如下。

(1) Web 服务器接收到来自客户端浏览器的请求，将目标网页打包，作为本次通信过程中传输的主要数据；

(2) 网络中传递的是数字信号，因此在传输网页之前需先对其中内容进行编码；

(3) Web 服务器要与计算机 A 中的浏览器进行通信，则需与其建立会话进程；

(4) 网页中包含的信息量较多，为降低传播时延，控制网络流量，也为了方便对信息进行校验，需要将待传输的网页信息拆分、打包、放入缓存并分段编号，随后依次发送包含信息的数据包。此外为了保证信息的准确性，还要检测传输线路的容错性；

(5) 同一时刻接入网络、使用网络的端点不唯一，网络上传输的数据包也不唯一，为了保证各端发送的数据包能按预期被送往接收端，网络需为各数据包选择转发路径；

(6) 数据包从发送方到达接收方可能经过多个不同类型的网络，不同网络可能对应不同的链路。链路中传输的信息单位为帧，不同链路中可能使用不同的帧格式。因此需根据网络类型，将待转发的数据包封装为不同的数据帧；

(7) 信息的传输离不开物理媒介，数据帧在物理媒介中被转换为比特流，并通过物理媒介从网络中的一台设备传输到另外一台设备，直到抵达目的设备。

以上七个步骤与 OSI 参考模型中各层负责的功能自顶向下一一对应，如图 2-9 所示。

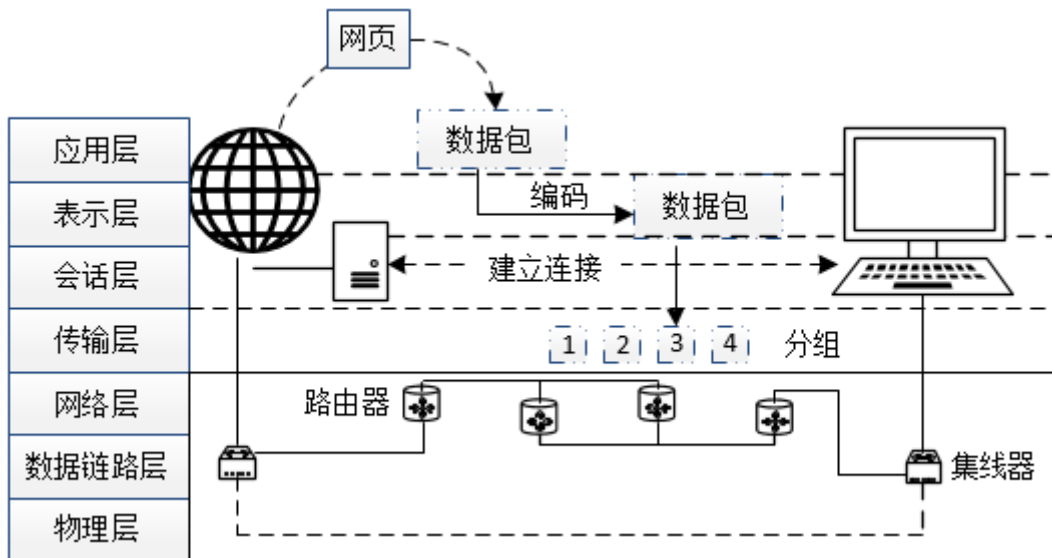


图2-9 数据传输与 OSI 对应关系

2、信息接收

若网络通畅，发送方发送的信息便可顺利传送到接收方，即计算机 A 中。从信息递达计算机 A 到浏览器解析数据、呈现给用户，同样经历 7 个步骤，具体如下：

(1) 接收方计算机 A 通过网卡接收经由物理媒介传输的信息，并将信息拷入内存；

(2) 接收方计算机对接收到的信息进行检测，若数据有误，通知信息发送方重新发送；若信息正确，则在接收完成后断开链路；

(3) 接收方获取信息中的地址，与自身地址进行核对，判断所接收信息是否为应接收的信息；

(4) 接收方接收到完整的信息并对信息进行检查后，发送确认信息；

(5) 接收方与发送方之间的通信完成，会话结束；

(6) 接收方按照与发送方约定的方式，对信息进行转码、解密等操作；

(7) 接收方获取到发送方发送的原始信息，并将其以网页形式在浏览器中展示。

以上七个步骤与 OSI 参考模型中各层负责的功能自底向上一一对应。

至此，Web 服务器与浏览器之间的一次通信完成。若浏览器再次向 Web 服务器发起请求，新的链路将被建立，Web 服务器和客户端浏览器将再次执行上述信息发送和接收的过程。

2.4 TCP/IP 参考模型

本节将对 TCP/IP 参考模型各层的功能进行详细讲解，并结合案例，说明基于 TCP/IP 模型时网络的通信流程。

2.4.1 TCP/IP 分层与常用协议

TCP/IP 是目前应用最广泛的参考模型，为了明确基于 TCP/IP 模型时网络通信的流程与各层的功能，人们将 TCP/IP 的底层——网络接口层分为数据链路层和物理层进行理解。五层协议体系结构中各层的功能分别如下。

1、应用层

TCP/IP 参考模型的应用层对应 OSI 参考模型的应用层、表示层和会话层，TCP/IP 的应用层负责实现 OSI 参考模型中高三层的所有功能，包括提供用户与网络交互的接口、规定应用进程之间所传输数据的表示方法以及为通信的应用程序创建、维护和释放链接。

网络应用多种多样，很难使用几种高度统一的协议来为应用进程提供服务，因此，应用层有很多种协议，常见的应用及其对应的应用层协议如表 2-1 所示。

表2-1 常用应用层协议

应用	协议
电子邮件	SMTP。简单邮件传输协议。
Web 服务	HTTP。超文本传输协议。
文件传输	FTP。文件传输协议。
域名解析	DNS。域名系统。
视频会议	RTP。实时传输协议
远程终端访问	Telnet 协议。
IP 动态配置	DHCP。动态主机配置协议

2、传输层

TCP/IP 参考模型的传输层对应 OSI 参考模型的传输层，该层为应用层提供端到端的数据通信服务。常用的传输层协议为 TCP 协议和 UDP 协议。

(1) TCP 协议

TCP 协议即传输控制协议 (Transmission Control Protocol)，使用该协议的传输层会在接收由应用层传输而来的、使用字节表示的数据流后，根据协议规则将数据流分为多个报文段，并为每个报文段添加本层的控制信息，生成传递给网际层的数据单元。

TCP 协议是一种面向连接的、可靠的、基于字节流的传输协议，在传递数据之前，收发双方会先通过一种被称为“三次握手”的协商机制使通信双方建立连接，为数据传输做好准备。为了防止报文段丢失，TCP 会给每个数据段一个序号，接收端应按序号顺序接收数据。若接收端正常接收到报文段，便会向发送端发送一个确认信息；若发送端在一定的时延后未接收到确认信息，便假设报文段已丢失，并重新向接收端发送对应报文段。此外，TCP 协议中还定义了一个校验和函数，用于检测发送和接收的数据，防止产生数据错误。

通信结束后，通信双方经过“四次挥手”关闭连接，因为 TCP 连接是全双工的，每个方向必须单独关闭连接，即连接的一端需先发送关闭信息到另一端；关闭信息发送后，发送关闭信息的一端不会再发送信息，但未发送关闭信息的仍可发送信息。

(2) UDP 协议

UDP 协议即用户数据报协议 (User Datagram Protocol)，使用 UDP 协议的传输层中传输的数据是按 UDP 协议封装成的数据报，每个数据报的前 8 个字节用来存储报头信息，其余字节用来存储需传输的数据。

UDP 是一种无连接的传输层协议。因为 UDP 的收发双方并不存在连接关系，按照 UDP 协议传输数据时，发送方发送数据报给接收方，之后可立即发送其他数据报给另一个接收方；同样地，接收方也可以接收由多个发送方发来的数据。UDP 不对数据报编号，它不保证接收方以正确的顺序接收到完整的数据，但 UDP 会将数据报的长度随数据发送给接收方。

虽然 UDP 是面向无连接的通信，不能如 TCP 般很好地保证数据的完整性和正确性，但 UDP 处理速度快，耗费资源少，因此在对数据完整性要求低、对传输效率要求高的应用中一般使用 UDP 协议传输数据。Internet 中几种典型应用及其使用的传输层协议如下：

- 电子邮件——使用 TCP 协议。
- Web 服务——使用 TCP 协议。

- IP 电话——使用 UDP 协议。
- 流式多媒体通信——使用 UDP 协议。

为了实现应用进程间的通信，传输层必须能够识别网络中的不同进程。传输层通过端口号来标识本地的进程，端口号是进程的逻辑编号，其取值范围为 0~65535。

当然端口号只能标识本地进程，若想找到网络中的远端进程，还需能够先找到拥有目标进程的主机。计算机网络中使用 IP 地址标识网络中唯一一台主机（IP 地址相关知识将在后续内容中讲解），通过“IP 地址+端口号”的组合方可在网络中标识唯一的一个进程。

3、网络层

TCP/IP 参考模型的网际层（五层协议中称为网络层）对应 OSI 参考模型的网络层。网络层通过网络互联和路由选择功能实现主机与网络之间的交互，完成主机到主机的通信。

网络层向传输层提供服务，它提供的服务分为两种：一种服务“面向连接”，一种服务“无连接”。“面向连接”是一种可提供可靠数据传输的方式，在传递数据之前建立逻辑信道，该信道在通信结束前一直存在。“无连接”则不必建立连接，通信双方需要交换的数据以分组为单位独立发送，它只“尽最大努力地交付”，不保证分组的正确顺序、交付时限，甚至也不是百分百实现交付，这种方式下，通信的可靠性由传输层负责。

“面向连接”的方式更可靠，但为“面向连接”这一需求制定的协议比较复杂，相关的软、硬件设备的设计也比较复杂，一般用于对数据完整性较高的网络中。“无连接”方式只负责传输，不保证可靠性，由此简化了部分网络硬件（如路由器）功能，也能适用于更多应用。这两种方式各有优劣，在实际情境中应按需选择。

网络层中最常使用的协议是 Internet Protocol，即网际协议，简称 IP。IP 协议的两个基本功能为寻址和分段。传输层的数据封装完成后并没有直接发送到接收方，而是先递达网络层。网络层在原数据报前添加 IP 首部，封装成 IP 数据报并解析数据报中的目的地址，为其选择传输路径。IP 协议中这种选择道路的功能也被称为路由功能。此外，IP 协议可重新组装数据报，改变数据报的大小，以适应不同网络对包大小的要求。

IP 协议本身不具备差错控制能力，网络层设计了 ICMP 协议（Internet Control Message Protocol，网际控制报文协议）来辅助 IP 协议实现数据的可靠传递，该协议作为 IP 协议的一部分，负责差错报告和网络状态报告功能。

4、数据链路层

数据链路层简称为链路层，其主要功能为封装成帧、透明传输和差错检测。

（1）封装成帧

帧是链路层的数据传输单位，当接收到来自网络层的数据时，链路层在该数据前后分别添加首部和尾部，就构成了数据帧；当接收到来自物理层的比特流时，链路层可根据帧首部和帧尾部识别帧，将比特流封装成帧。

（2）透明传输

任何数据在链路层都应能无差别传输，但对数据中包含的用于标识帧首部和帧尾部的信息应采取一定措施，保证接收方能够正确识别信息的语义。

（3）差错检测

数据在链路中传输时总不会是百分百可靠的，因此链路层需要具有差错检测功能。

数据链路层的常用协议为 PPP（Point-to-Point Protocol，点对点协议），该协议规定，接收方接收到数据帧时仅对其进行差错检测，若检测正确就保留这个帧，否则将其丢弃。PPP 协议包含以下组成部分：

- 将 IP 数据报封装到串行链路的方法，用于帧的封装。
- 建立、配置和测试数据链路的链路控制协议 LCP。
- 用于协商网络层使用的协议、配置 IP 地址等参数的网络控制协议 NCP。

5、物理层

物理层是网络体系结构中的最底层，它与物理设备相关，主要规定物理设备与传输媒介之间的接口规则，实现网络中物理设备间比特流的传输。计算机网络涉及的网络设备和传输媒介种类繁多，物理层的功能是尽量屏蔽这些差异，为其上的数据链路层提供透明服务。

物理层常用的协议有 EIA RS-232-C、EIA RS-449 等，这些协议规定物理设备的特性，如设备接口的形状与尺寸、信号传输时的电平与脉冲宽度、电路信号出现的顺序、应答关系等。

2.4.2 TCP/IP 数据传输流程

当网络基于 TCP/IP 参考模型搭建时，在数据的传输流程中，除传输层和网络层外，应用层和数据链路层也会向从上层接收到的数据报中添加控制信息，若接收双方通过同一个路由器连接，那么数据在传输过程中的变化将如图 2-10 所示。

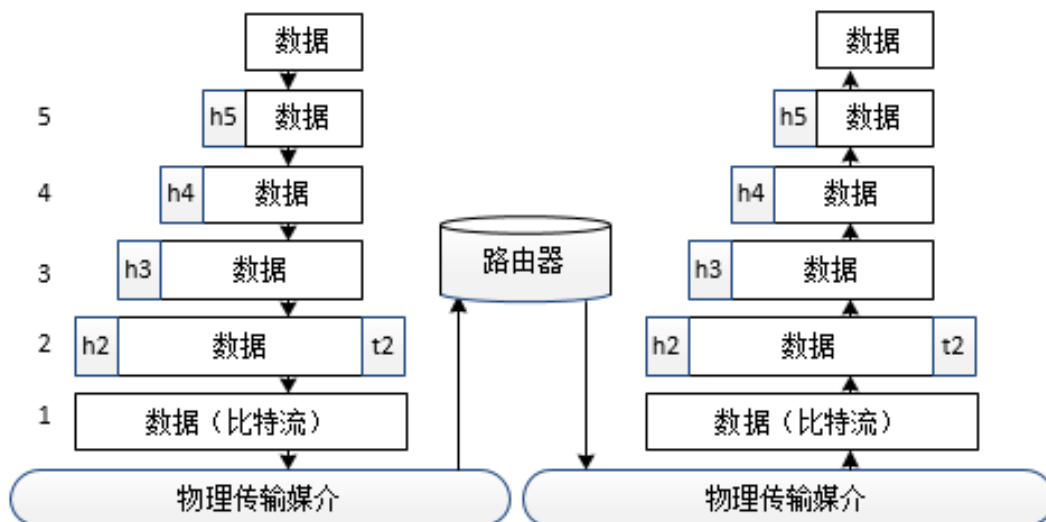


图2-10 数据传输流程

由图 2-10 可知，当两个应用程序进行通信，发送端进程发送数据给进程 B 时，数据在传输过程中将会发生以下变化：

(1) 来自应用程序 1 的数据首先递达应用层，经应用层协议在其头部添加相应的控制信息后，该数据被传向传输层；

(2) 传输层接收到来自应用层的信息，经 TCP/UDP 协议添加 TCP 首部或 UDP 首部后，作为数据段或数据报被传送到网络层；

(3) 网络层接收到来自传输层的数据段或数据报，为其添加 IP 首部并封装为 IP 数据报，传送到链路层；

(4) 链路层接收到来自网络层的 IP 数据报，在其头尾分别添加头、尾控制信息，封装成帧数据，传递到物理层；

(5) 物理层接收到来自链路层的帧数据，将其转化为由 0、1 代码组成的比特流，传送到物理传输媒介；

(6) 物理传输媒介中的比特流经路由转发，递达应用程序 2 所在的物理传输媒介中，之后 TCP/IP 协议簇中的协议先将比特流格式的数据转换为数据帧，

并依次去除链路层、网络层、传输层和应用层添加的头部控制信息，最后将实际的数据递送给应用程序 2，到此两个进程成功通过网络实现数据传递。

由以上数据传输过程可知，体系结构中各层的实现建立在其下一层所提供的服务上，并向其上层提供服务，各层之间的关系如图 2-11 所示。

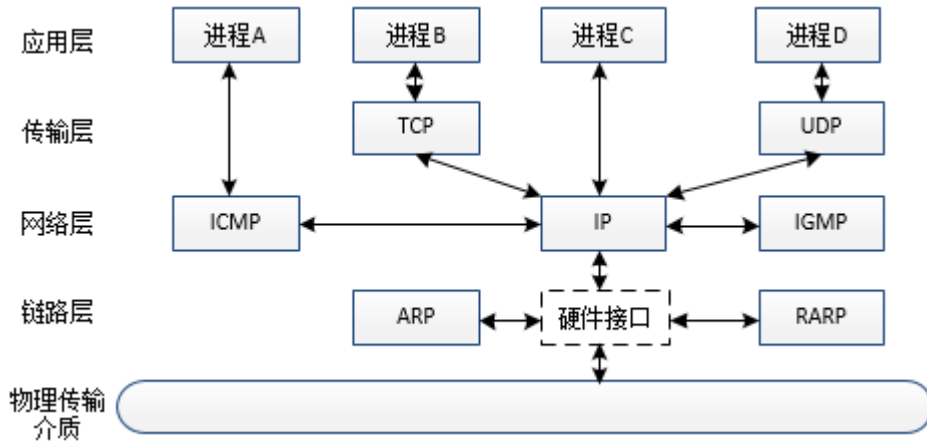


图2-11 体系结构关系示意图

图 2-11 中的 ICMP、IGMP、ARP 和 RARP 分别为网络层和链路层的协议。

2.5 IP 地址

想要使用 Internet，用户必须拥有 IP 地址，但 IP 地址的管理机构只将 IP 地址分批租赁给通过审查的 ISP，不会将单独 IP 租赁给个人。合格的 ISP 拥有从 IP 地址管理机构申请到的成批的 IP 地址，也拥有通信线路，个人用户可向 ISP 缴纳费用，通过该 ISP 获取 IP 地址，接入因特网。

IP 地址用于在网上唯一标记一台电脑。如图 2-12 所示的网络中，包含多个小型的网络与众多主机，假设其中的 pc1 要向 pc2 发送信息，那么 pc1 必须能在这个网络中找到 pc2，这要求 pc2 在整个网络中有一个唯一标识，这个唯一标识就是 IP 地址。

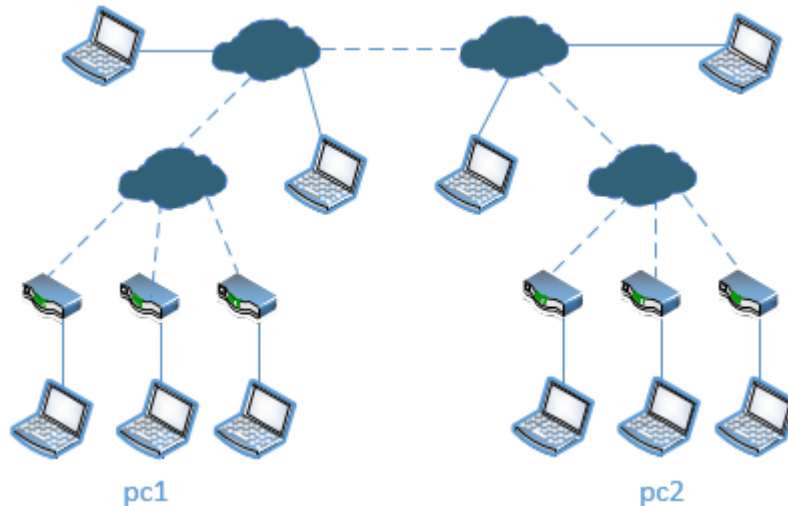


图2-12 网络中的主机

目前较通用的 IP 地址是互联网协议的第四版地址，即 IPv4。IPv4 由 4 个字段和 3 个分隔字段的“.”组成，每个字段的取值范围为 0~255，即 $0\sim 2^8$ ，如“127.0.0.1”就是一个标准的 IPv4 格式的地址，使用这种方式表示的地址叫做“点分十进制”地址。IP 地址中的字段也可以使用二进制表示，如“127.0.0.1”也可表示为“11111111.00000000.00000000.00000001”，这个地址是本机回送地址（Loopback Address），可用于网卡在本机内部的访问。

2.5.1 IPv4 的分类

IPv4 地址共分为 5 类，依次为 A 类 IP 地址、B 类 IP 地址、C 类 IP 地址、D 类 IP 地址和 E 类 IP 地址。其中 A、B、C 类 IP 地址在逻辑上又分为两个部分：第一部分标识网络，第二部分标识网络中的主机，如 IP 地址“192.168.43.21”，该地址的前 3 个字段标识网络号为“192.168.43.0”，最后一个字段“21”标识该网络中的主机，具体如图 2-13 所示。

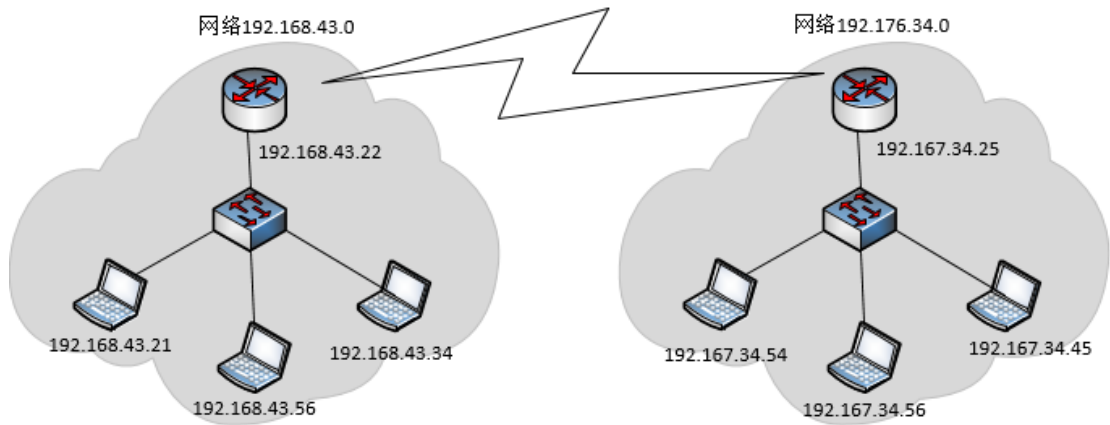


图2-13 IP 地址图示

由图 2-13 可知，处于同一网络中的主机由最后一个字段区分。

图 2-13 中所示的 IP 地址都是 C 类 IP 地址，IP 地址根据取值范围分类，具体如图 2-14 所示。



图2-14 IP 地址的分类

网络号相同的 IP 地址处于同一个网段，A~E 类 IP 地址的取值范围及可用 IP 数量分别如下。

1、A 类地址

A 类 IP 地址由 1 字节的网络号和 3 字节的主机号组成，网络号的最高位必须是“0”。A 类 IP 地址的范围为：1.0.0.1~126.255.255.254，可用 A 类网络共有 2^7-2 ，即 126 个；每个网络的可用 IP 地址有 $2^{24}-2$ ，即 1677214 个。

2、B 类地址

B类IP地址由2字节的网络号和2字节的主机号组成，网络号的最高位必须是“10”。B类IP地址的范围为：128.1.0.1~191.255.255.254，可用B类网络有 $2^{14}-2$ ，即16384个，每个网络的可用IP地址有 $2^{16}-2$ ，即65534个。

3、C类地址

C类IP地址由3个字节的网络号和一个字节的主机号组成，网络号的最高位必须是“110”。C类IP地址的范围为：192.0.1.1~223.255.255.254。每个C类网络中可用IP地址有 2^8-2 ，即254个。

4、D类地址

D类IP地址不分网络号和主机号，它固定以“1110”开头，取值范围为：224.0.0.1~239.255.255.254。D类IP地址并不指向特定的网络，目前这一类地址被用在多播通信中。

5、E类地址

E类地址不分网络号和主机号，它固定以“11110”开头，取值范围为：240.0.0.1~255.255.255.254。E类IP地址仅在实验和开发中使用。

A、B、C类IP地址每个网络号中的可用IP地址总是 2^n-2 （ n 为某类IP地址的网络号位数），这是因为，主机号从0开始，但第一个编号“0”与网络号一起表示该网络的网络号（如C类IP地址的第一个网络号为127.0.0.0），最后一个编号“255”与网络号一起表示该网络的广播地址（如C类IP地址的第一个广播地址为127.0.0.255）。

此外，每个网段中都有一部分IP地址供给局域网使用，这类IP地址称为私有地址，它们的范围如下：

- A类私有地址：10.0.0.0~10.255.255.255。
- B类私有地址：172.16.0.0~172.31.255.255。
- C类私有地址：192.168.0.0~192.168.255.255。

由于使用四个字段表示的IP地址难以阅读和记忆，人们发明了域名系统，域名系统中的每个域名都对应唯一一个IP地址，使用域名或者与域名对应的IP地址可以访问网络上的同一台主机，例如，使用域名“www.baidu.com”或者IP地址“202.108.22.5”都能访问百度的主机。



多学一招：IPv6

随着智能设备的普及，IPv4 格式的地址数量已不能满足人类的需求，为此 IETF (The Internet Engineering Task Force, 国际互联网工程任务组) 设计了新的 IP 地址格式，即 IPv6。IPv6 的地址长度为 128b，是 IPv4 地址长度的 4 倍，通常使用点分 16 进制表示，如“2001:DB8:0:23:8:800:200C:417A”，若地址的一个字段全部为 0，可将其压缩为“::”，如“fe80::384a:22bc:2c98:71e5”，“::”在一个地址中只能出现一次。

如今网络中使用率较高的地址仍为 IPv4，对 IPv6 有兴趣的读者可查阅相关资料自行学习。

2.5.2 子网掩码

子网掩码又称为地址掩码，它用于划分 IP 地址中的网络号与主机号，网络号所占的位用“1”标识，主机号所占的位用“0”标识，因为 A、B、C 类 IP 地址网络号和主机号的位置是确定的，所以子网掩码的取值也是确定的，分别如下：

- 255.0.0.0，等同于 11111111.00000000.00000000.00000000，用于匹配 A 类地址。
- 255.255.0.0，等同于 11111111. 11111111. 00000000. 00000000，用于匹配 B 类地址。
- 255.255.255.0，等同于 11111111. 11111111. 11111111. 00000000，用于匹配 C 类地址。

子网掩码通常应用于网络搭建中，申请到网络号之后，用户可利用子网掩码将该网络号标识的网络划分为多个子网，假设申请到了一个 C 类网络，网络号为“192.93.54.0”，这个网络中的可用 IP 地址有 254 个，若想将这个网络等分为 4 个子网，则可将子网掩码第四个字段的前两位设置为 1，得到子网掩码“11111111. 11111111. 11111111. 11000000”，即“255.255.255.192”。此时得到的四个子网的 IP 地址取值范围分别如下：

- 网络号：192.93.54.0。IP 范围：192.93.54.1~192.93.54.62。
- 网络号：192.193.54.64。IP 范围：192.193.54.65~192.93.54.126。
- 网络号：192.193.54.128。IP 范围：192.193.54.129~192.93.54.190。
- 网络号：192.193.54.192。IP 范围：192.193.54.193~192.93.54.254。

以上示例将 C 类网络 193.93.54.0 等分为了 4 个子网，这 4 个子网使用相同的子网掩码。若要将该网络划分为不等长的子网，那么子网的子网掩码将各不相同。

例如将 C 类子网 192.93.54.0 划分为三个不等长的子网，要求第一个子网需能容纳 100 台主机，第二个子网需能容纳 50 台主机，第三个子网需能容纳 25 台主机，那么第一个子网至少应有 126 个主机位，第二个子网至少应有 62 个主机位，第三个子网至少应有 30 个主机位。假设将 C 类网络 192.168.54.0 依次分给这三个子网，那这三个子网的网络号、子网掩码依次如下：

网络号：192.93.54.0。子网掩码：255.255.255.128。

网络号：192.93.54.128。子网掩码：255.255.255.192。

网络号：192.93.54.192。子网掩码：255.255.255.224。

这三个子网的 IP 地址范围依次为：

- 子网一：192.93.54.1~192.93.54.126。
- 子网二：192.93.54.129~192.93.54.190。
- 子网三：192.93.54.193~192.93.54.222。

2.6 本章实验-配置 IP 地址

IP 地址的配置方法有两种：一种为动态获取 IP，此种方式要求网络中存在 DHCP 服务器；另一种为配置静态 IP，此种方式一般由用户手动设置 IP 地址、子网掩码、网关和 DNS 服务器。

一、实验目的

- (1) 掌握为主机配置动态 IP 的方法。
- (2) 掌握为主机配置静态 IP 的方法。

二、实验材料与工具

实验设备：已接入网络的微型计算机。

操作系统：Windows 7 64 位。

三、实验步骤

在进行实验之前需保证除 IP 地址配置外，网络其他模块已配置完备。

1、配置动态 IP 地址

配置主机，使其动态获取 IP 地址的具体步骤如下。

(1) 通过【开始】-【控制面板】，打开“控制面板”窗口。设置该窗口右上角的“查看方式”为“大图标”，打开“所有控制面板项”窗口，在该窗口中单击“网络和共享中心”，打开相应窗口。点击此界面中的“连接”项右侧的超链接“本地连接”，打开“本地连接 状态”窗口，如图 2-15 所示。



图2-15 本地连接 状态

(2) 点击“本地连接 状态”页面的【属性】按钮，在弹出的“本地连接 属性”窗口中选择项目列表中的“Internet 协议版本 4 (TCP/IPv4)”，如图 2-16 所示。



图2-16 本地连接 属性

(3) 点击“本地连接 属性”页面的【属性】按钮，在弹出的窗口中选择“自动获得 IP 地址”和“自动获得 DNS 服务器地址”选项，具体如图 2-17 所示。

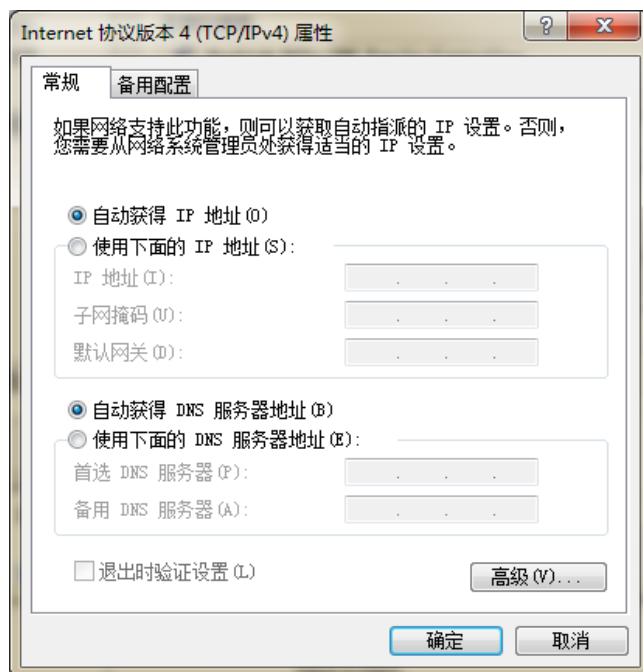


图2-17 动态获取 IP 地址

(4) 点击图 2-17 界面的【确定】按钮，保存配置并关闭“Internet 协议版本 (TCP/IPv4) 属性”窗口；关闭“本地连接 属性”，点击“本地连接 状态”

窗口的【详细信息】按钮，查看网络连接的详细信息，具体如图 2-18 所示。

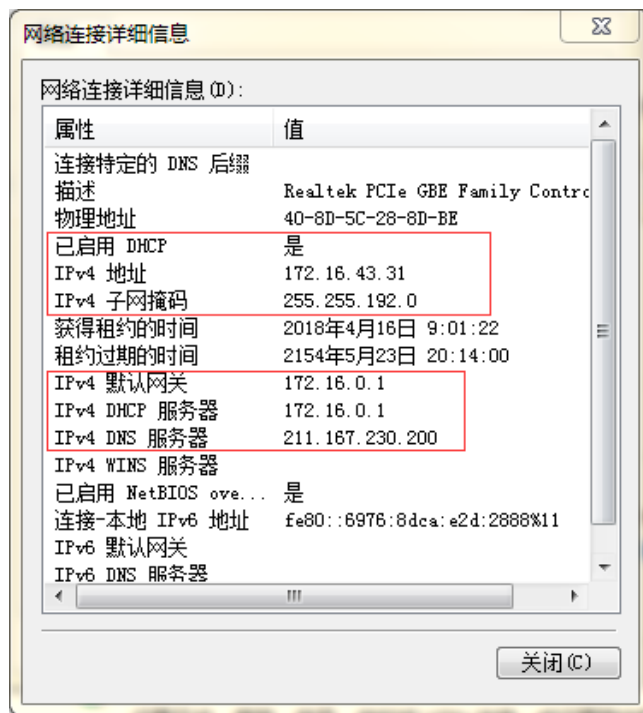


图2-18 网络连接详细信息

(5) 打开浏览器，输入网址，若可成功访问网络，说明动态 IP 地址配置成功。

2、配置静态 IP 地址

为主机配置静态 IP 地址的操作步骤如下。

(1) 通过【开始】-【控制面板】-【所有控制面板项】打开“网络和共享中心”窗口，点击此窗口中的“本地连接”，打开“本地连接 状态”页面。

(2) 点击“本地连接 状态”页面的【属性】按钮，在弹出的“本地连接 属性”窗口中选择项目列表中的“Internet 协议版本 4 (TCP/IPv4)”。

(3) 点击“本地连接 属性”页面的【属性】按钮，在弹出的窗口中选择“使用下面的 IP 地址”选项，此时界面如图 2-19 所示。

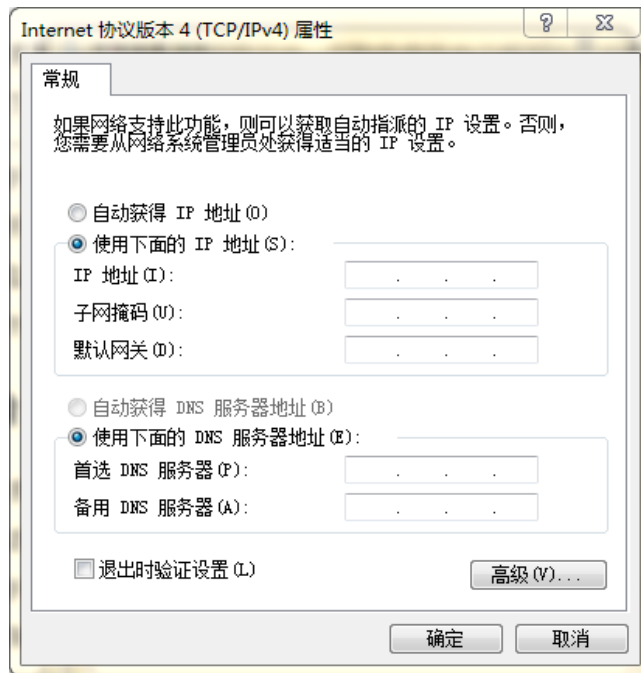


图2-19 静态 IP 地址配置界面

(4) 根据主机所处网络，填入无冲突的 IP 地址，并依次填入子网掩码、默认网关、首选 DNS 服务器的信息。本实验主机中 IP 地址配置如图 2-20 所示。

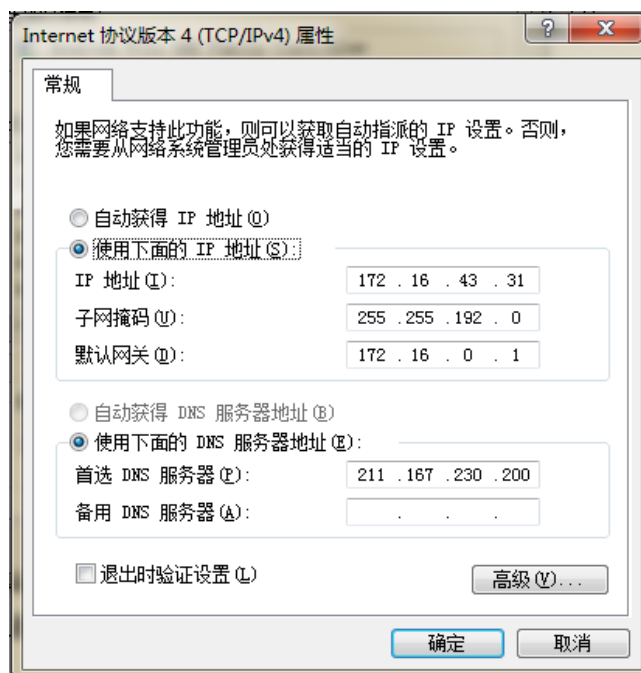


图2-20 静态网络参数配置

(5) 点击【确定】按钮保存配置，关闭窗口。点击“本地连接 状态”窗口的【详细信息】按钮，查看此时的网络配置信息，具体如图 2-21 所示。

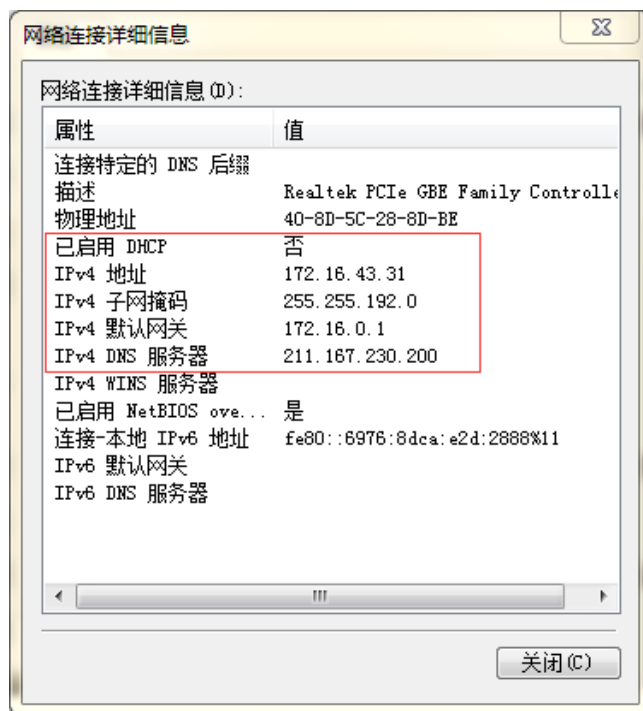


图2-21 网络连接详细信息

(6) 打开浏览器，输入网址，若可成功访问网络，说明静态 IP 地址配置成功。

四、总结

参照前文给出的实验步骤配置主机 IP 地址，若配置失败，与同学、老师进行交流，思考并总结失败的原因。

2.7 本章小结

本章主要介绍了网络协议与体系结构，包括协议与体系结构对构建网络的意义、常见的网络体系结构、TCP/IP 体系结构中常用的协议等。此外，本章也对网络通信中涉及的 IP 地址进行了说明。通过本章的学习，读者应对常见的网络协议与体系结构有基本的了解，并掌握 IP 地址的分类，以及划分子网的方法。

2.8 本章习题

一、填空题

1、协议是用于规定信息的格式、发送/接受信息的方式的一套规则，它主要由_____、_____和_____三个要素组成。

- 2、五层协议参考模型自顶向下依次包含_____、_____、_____、_____、_____五层。
- 3、OSI 参考模型的_____层负责为通信的应用程序创建、维护和释放连接。
- 4、TCP/IP 中常用的应用层协议有_____、_____、_____。
- 5、IP 地址分为 A~E 五类，使用_____可将每个网络划分为更小的网络。

二、判断题

- 1、UDP 和 TCP 是 TCP/IP 参考模型中网络层使用的协议。 ()
- 2、电子邮件应用中使用的传输层协议是 TCP。 ()
- 3、在网络层中以“面向连接”的方式进行的通信更为可靠，其实现也更加复杂。 ()
- 4、TCP/IP 体系结构中的数据链路层的主要功能是封装成帧、透明传输和差错检测。 ()
- 5、IP 地址可唯一标识网络中的进程。 ()
- 6、IP 地址和域名之间存在一一对应关系。 ()
- 7、任何用户的计算机与 Internet 连接，都必须从 ISP 取得一个固定的 IP 地址。 ()

三、单选题

- 1、C 类网络中可用 IP 地址的数量是。 ()
 - A、 $2^{32}-2$
 - B、 $2^{24}-2$
 - C、 $2^{16}-2$
 - D、 2^8-2
- 2、以下哪类 IP 地址被用于多播通信中？ ()
 - A、A 类
 - B、B 类
 - C、C 类
 - D、D 类
- 3、若要将 C 类网络“192.93.54.0”分为 4 个子网，每个子网至少容纳 50 台主机，则其子网掩码为？ ()
 - A、255.255.255.64

B、255.255.255.128

C、255.255.255.192

D、255.255.255.0

4、一条 TCP 连接的数据传送方向是？ ()

A、单向的

B、双向的

C、某一时刻是单向的，但在一段时间里可以传送双向的数据

D、不确定

四、简答题

1、将一个 C 类子网划分为 3 个子网，每个子网最少容纳 55 台主机，则划分子网的子网掩码应为？为什么？

2、简述体系结构在划分层次时遵循的原则。