21世纪高等教育计算机规划教材

COMPUTER

TCP/IP 协议及其应用

TCP/IP Analysing and Applying

林成浴 主编

陈晨 钟小平 周洪霞 副主编

- 按照网络层次组织内容
- 大量参考最新RFC文档
- 反映 Internet 最新进展

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21世纪高等教育计算机规划教材

COMPUTER

TCP/IP协议及其应用

TCP/IP Analysing and Applying

林成浴 主编

陈晨 钟小平 周洪霞 副主编

人民邮电出版社

北京

图书在版编目（CIP）数据

TCP/IP协议及其应用 / 林成浴主编. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2013.7
21世纪高等教育计算机规划教材
ISBN 978-7-115-32522-8

Ⅰ. ①T… Ⅱ. ①林… Ⅲ. ①计算机网络－通信协议－高等学校－教材 Ⅳ. ①TN915.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第179407号

内 容 提 要

本书基于网络工程和应用需求，按照从低层到高层的逻辑顺序，有针对性地讲解 TCP/IP 的层次结构、工作原理和协议数据单元。全书共 13 章，内容包括 TCP/IP 基础、网络接口层、IP 寻址与地址解析、IP 协议、ICMP 协议、IP 路由、TCP 与 UDP 协议、DNS 与 DHCP 协议、应用层协议、SNMP 协议、网络安全协议，以及 IPv6 协议。

本书内容丰富，注重系统性和实践性，对于重点协议提供协议分析操作示范，引导读者直观地探索 TCP/IP。编写过程中参考了最新的 RFC 文档，反映 TCP/IP 最新的一些发展动态。

本书可作为计算机网络相关专业的教材，也可作为网络管理和维护人员的参考书以及各种培训班的教材。

◆ 主　　编　李成浴
副 主 编　陈　晨　钟小平　周洪霞
责任编辑　刘　博
责任印制　彭志环　焦志炜

◆ 人民邮电出版社出版发行　　北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编　100061　　电子邮件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
北京鑫正大印刷有限公司印刷

◆ 开本：787×1092　1/16
印张：23　　2013 年 7 月第 1 版
字数：603 千字　　2013 年 7 月北京第 1 次印刷

定价：49.00 元

读者服务热线：(010)67170985　印装质量热线：(010)67129223
反盗版热线：(010)67171154
广告经营许可证：京崇工商广字第 0021 号

前　言

计算机网络已深入到社会的各个领域，不仅电信部门、研究部门、高科技企业，而且其他行业都对网络工程技术人才提出了迫切的需求，尤其是熟练掌握网络规划、设计、组建和运维管理的高级应用型人才。

TCP/IP 是目前最完整的、被普遍接受的通信协议标准，也是 Internet 的基础。无论是局域网，还是广域网，TCP/IP 都是使用最为广泛的网络协议。TCP/IP 是一个层次清晰、功能强大的协议簇。作为一个真正的开放协议，TCP/IP 还在不断地发展，以适应各种新型应用。理解和掌握 TCP/IP 对于网络管理人员和工程技术人员是非常必要的。我国很多高等院校的网络相关专业都将“TCP/IP 协议”作为一门重要的专业课程。为了帮助高等院校教师比较全面、系统地讲授这门课程，使学生能够理解 TCP/IP 的基本概念和工作原理，掌握协议分析方法，我们几位长期从事网络专业教学的教师共同编写了本书。

本书内容系统全面，结构清晰，图文并茂，并注意按照网络层次组织编排内容，大量参考了最新的 RFC 文档，反映 Internet 的最新进展。本书内容编写注意难点分散、深入浅出、循序渐进；文字叙述注意言简意赅、逻辑连贯、重点突出。

全书共 13 章，内容按照从低层协议到高层协议的逻辑进行组织。第 1 章是基础部分，重点讲解 TCP/IP 体系，并介绍了如何使用协议分析工具捕获和分析 TCP/IP 流量。第 2 章介绍的是底层技术，了解底层尤其是数据链路层有助于理解 TCP/IP。从第 3 章开始详细讲解各类 TCP/IP，第 3 章至第 6 章具体介绍网络层协议，第 7 章分析传输层协议 TCP 与 UDP，第 8 章至第 11 章的内容则是应用层协议。考虑到安全的重要性，网络安全协议放在第 12 章专门讨论。最后一章讲解新版本的 IP——IPv6。每一种协议按照基本概念、工作原理、数据单元格式、协议验证分析的内容组织模式进行编写。作为应用本科教材，尽可能使用示意图辅助解释原理，通过表格描述协议数据格式；提供动手实践内容，示范使用 Wireshark 软件验证分析多种协议的数据单元格式和通信过程，让学生以直观的方式探索 TCP/IP 的精髓。各章节还穿插了与协议相关的网络应用、管理和安全方面的知识。

本书的参考学时为 48 学时，其中实践环节为 8～12 学时。

由于时间仓促，加之我们水平有限，书中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正。

编　者

2013 年 5 月

目 录

第 1 章 TCP/IP 协议基础

目前绝大多数网络都采用 TCP/IP 协议，TCP/IP 是目前最完整的、被普遍接受的通信协议标准。它可以使不同硬件结构、不同操作系统的计算机之间相互通信。本章是全书的基础部分，重点介绍了 TCP/IP 基础知识，涉及 TCP/IP 标准、OSI 参考模型、TCP/IP 协议簇，最后讲解如何使用协议分析工具辅助 TCP/IP 协议的学习和研究。

1.1 网络通信协议与 TCP/IP

为保证通信正常进行，必须事先做出一些规定，要求通信双方正确执行这些规定。这种通信双方必须遵守的规则和约定称为协议（或规程）。网络通信协议能够协调网络的运转，使之达到互通、互控和互换的目的。

1.1.1 网络通信协议

网络通信协议简称网络协议，是计算机在网络中实现通信时必须遵守的规则和约定，主要是对信息传输的速率、传输代码、代码结构、传输控制步骤、差错控制等做出规定并制订出标准。只有采用相同网络协议的计算机才能进行信息的沟通与交流。协议由以下 3 部分组成。

- 语义（Semantics）：规定双方完成通信需要的控制信息及应执行的动作。
- 语法（Syntax）：规定通信双方交换的数据或控制信息的格式和结构。
- 时序（Timing）：规定通信双方彼此的应答关系，包括速度的匹配和顺序。

由于协议十分复杂，涉及面很广，因此在制定协议时通常采用分层法，每一层分别负责不同的通信功能。层次和协议的集合就可称为网络的体系结构。OSI 就是一个通用的网络体系结构。除了单个协议外，还有协议组件（又称协议簇），它是一组不同层次上的多个协议的组合。

网络通信协议的国际标准化工作是以 ISO（国际标准化组织）和 ITU-TS（国际电信联盟电信标准化部）为中心开展的，由于历史原因，还存在许多既成事实的工业标准。

作为国际标准规格的网络通信协议，其数量很多，而且不断有新的标准、规定或已有标准的修订版本推出。通常按网络层次来划分协议类型，从低层的物理层协议（如 RS-232）一直到高层的应用层协议（如 HTTP）。

协议栈（Protocol Stack）是指网络中各层协议的总和，它形象地反映了一个网络中数据传输的过程：由上层协议到底层协议，再由底层协议到上层协议。使用最广泛的是 TCP/IP 协议栈，又称 Internet 协议栈，从上到下包括应用层、传输层、网络层和网络接口层 4 个层次的各种协议。

1.1.2 TCP/IP 协议

TCP/IP 协议是目前最完整的、被普遍接受的通信协议标准。它可以使不同硬件结构、不同操作系统的计算机之间相互通信。

TCP/IP 起源于 20 世纪 60 年代末美国政府资助的一个分组(包)交换网络研究项目 ARPAnet。最初 ARPAnet 使用的是租用的、以点对点通信为主的线路，当卫星通信系统与通信网发展起来之后，它最初开发的网络协议在通信可靠性较差的通信子网中使用出现了不少问题，这就直接导致了网络协议 TCP/IP 的产生。TCP/IP 是一个真正的开放协议，很多不同厂家生产各种型号的计算机，它们运行完全不同的操作系统，但 TCP/IP 协议组件允许它们互相进行通信。现在 TCP/IP 已经成为一个由成千上万的计算机和用户构成的全球化网络，ARPAnet 也发展成为 Internet。TCP/IP 是 Internet 的基础。

TCP/IP 协议是以套件的形式推出的，它包括一组互相补充、互相配合的协议。TCP/IP 协议族包括 TCP（传输控制协议）、IP（互联网协议）和其他的协议，所有这些协议相互配合，实现网络上的信息传输。TCP 和 IP 的组合不仅仅表示这两个协议，还指整个协议套件，TCP 和 IP 只是其中两个最重要的协议，读者应把握此术语的真正含义。

严格地说，TCP/IP 协议只是习惯叫法，更专业的叫法是 Internet 协议。TCP/IP 协议不是 ITU-T 或 OSI 的国际标准，但它作为一种事实的标准，完全独立于任何硬件或软件厂商，可以运行在不同体系的计算机上。它采用通用寻址方案，一个系统可以寻址到任何其他系统，即使在 Internet 这样庞大的全球性网络内，寻址的运作也是游刃有余的。无论是局域网，还是广域网，TCP/IP 都是使用最为广泛的协议。

1.1.3 管理 TCP/IP 的组织机构

Internet 最大特点是管理上的开放性，它不为任何政府部门或组织所拥有或控制，没有集中的管理机构，其管理和标准化过程一直由相关的非营利性组织机构承担。这些机构承担 Internet 的管理职责，建立和完善 TCP/IP 和相关协议的标准。与 TCP/IP 协议相关的组织机构简介如下。

1. ISOC

ISOC 全称 Internet Society（Internet 协会），提供对 Internet 标准化支持的国际性、非营利的组织，也是所有各种 Internet 委员会和任务组的上级机构。

2. IAB

IAB 全称 Internet Architecture Board（Internet 体系结构委员会），是 ISOC 的技术顾问，包括两个下属机构 IETF 和 IRTF，负责处理当前和未来的 Internet 技术、协议及研究。IAB 最主要任务就是监督所有协议和过程的架构，并通过称为 RFC（Request For Comments，请求注解）的文档提供评论性的监督。

3. IETF 与 IESG

IETF 全称 Internet Engineering Task Force（Internet 工程任务组），负责制订草案、测试、提出建议以及维护 Internet 标准的组织，这些文档采用 RFC 的形式，并通过多个专门委员会各负其责地完成。IESG 全称 Internet Engineering Steering Group（Internet 工程指导小组），作为 IETF 的上层机构，主要负责 IETF 的各项活动及 Internet 标准制定过程中的技术管理工作。

4. IRTF 与 IRSG

IRTF 全称 Internet Research Task Force（Internet 研究任务组），负责长期的、与 Internet 发展

相关的技术问题，协调有关 TCP/IP 协议和一般体系结构的研究活动。IRTF 也有一个指导小组——IRSG（Internet Research Steering Group，Internet 研究指导小组）。IRTF 接受 IRSG 的管理。IRTF 由多个 Internet 志愿工作小组构成，IRSG 的每个成员主持一个 Internet 志愿工作组。

5. IANA

IANA 全称 Internet Assigned Numbers Authority（Internet 数字分配机构），负责分配和维护 Internet 技术标准（协议）中的唯一编码和数值系统。主要任务包括：管理 DNS 域名根和 IDN（国际化域名）资源；协调全球 IP 和 AS（自治系统）号并将它们提供给各区域 Internet 注册机构；与各标准化组织一同管理协议编号系统。

6. ICANN

ICANN 全称 Internet Corporation for Assigned Names and Numbers（Internet 名称与数字地址分配机构），具体行使 IANA 的职能，负责 IP 地址空间的分配、协议标识符的指派、通用顶级域名以及国家和地区顶级域名系统的管理和根服务器系统的管理。ICANN 采用分级方式分配 IP 地址，先将部分 IP 地址分配给地区级的 Internet 注册机构（RIR），然后由 RIR 负责该地区的 IP 地址分配。目前的 5 个 RIR 分别是负责北美地区地址分配的 ARIN、负责欧洲地区地址分配的 RIPE、负责拉丁美洲地区地址分配的 LACNIC、负责非洲地区地址分配的 AfriNIC 和负责亚太地区地址分配的 APNIC。实践中，ICANN 检查地址和域名的注册与管理，但将客户交互、费用收取、数据库维护以及其他工作委托给商业机构。

7. TCP/IP 管理层次体系

由于 IETF 具体负责创建和维护 RFC，可以说它是上述机构中对于 TCP/IP 来说最重要的机构。相关的组织机构遵循自下至上的结构原则，为确保 Internet 持续发展而开展工作。TCP/IP 主要管理层次体系如图 1-1 所示，ISOC 位于顶层，通过维持和支持其他一些管理机构如 IAB、IETF、IRTF 以及 IANA 一些学术活动来实现 Internet 标准化。

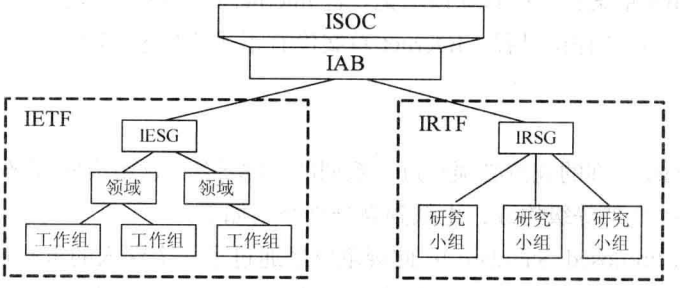

图 1-1　TCP/IP 管理层次体系

1.1.4　RFC

RFC 全称 Request For Comments，通常译为请求注解，是有关 Internet 的一系列注解和文件，涉及计算机网络的概念、协议、过程、程序、会议纪要、观点看法甚至幽默等诸多方面的内容。RFC 技术文档的发布开始于 1969 年，绝大部分 Internet 标准的制订都是以 RFC 的形式开始，经过大量的论证和修改而完成的。RFC 2026 “The Internet Standards Process——Revision 3”给出 Internet 标准的建立过程。由 IETF 及其指导小组 IESG 共同制订的 Internet 协议簇的规范文档就是作为 RFC 进行发布的，许多 TCP/IP 协议都得到了 RPC 的充分论证和文档支持。由于 RFC 包含

了关于 Internet 的几乎所有的重要文字资料，对于学习和掌握 Internet 知识来说，RFC 无疑是最重要的资料。

1. Internet 标准规范

符合 Internet 标准过程的规范归结为两类：TS（Technical Specification，技术规范）和 AS（Applicability Statement，适用性陈述）。TS 是关于协议、服务、过程、约定和格式的描述。AS 定义一个到多个技术规范的使用环境和使用方法，包括 TS 的关系、组合方式、参数值或范围、协议的子功能等。尽管两者在概念上是分开的，但实际的 RFC 文档总是将一个 TS 同与它相关的一个或多个 AS 关联起来。AS 为每个 TS 指定下列 5 个需求等级（requirement levels）之一。

- 必需的（Required）：为满足最小一致性，必须在所有使用 TCP/IP 协议簇的系统中实现。例如，定义 IP 的 RFC 791、规范 ICMP 的 RFC 792。
- 推荐的（Recommended）：从最小一致性上看并不是必需的，但是根据经验和技术要求推荐在系统中实现。例如，定义 TCP 的 RFC 793、规范 FTP 的 RFC 959。
- 可选的（Elective）：不是必需的，也不是推荐的，在系统中的实现是可选的。此类可选的 TS 往往与厂商和用户有关。
- 限制使用的（Limited Use）：只在受限的和特定的环境中使用。大多数实验的 RFC 属于这种等级。
- 不推荐的（Not Recommended）：不适合一般使用的 TS 等级。这些 TS 通常功能有限、过于专用或者是已成为历史状态的标准，不推荐在系统中实现。

最后两个需求等级的 RFC 已经不在标准化轨迹中和已从标准轨迹中退役。

2. Internet 标准处理过程

一个规范文档要进入 Internet 标准化轨迹之前，首先应作为 Internet 草案接受非正式的评论。如果超过 6 个月 Internet 草案还未被 IESG 推荐发布为 RFC 文档，或者在 6 个月内以 RFC 文档发布了，则将从 Internet 草案目录中移除该草案。若 Internet 草案被同一规范的新版本替代了，则开始新一轮的 6 个月非正式评论过程。Internet 草案没有正式的状态，随时可能被修改或从 Internet 草案目录中移除。

（1）标准轨迹

试图成为 Internet 标准的规范必须经过一系列的成熟等级，这组成熟等级即为 Internet 标准轨迹。标准轨迹由 3 个成熟等级构成，由低到高分别介绍如下。

- 提案标准（Proposed Standard）：此规范已经通过了一个深入的审查过程，受到了足够多组织的关注，并认为是有价值的。但它仍需要几个协议组的实现和测试。在成为 Internet 标准前，它可能还会有很大的变化。
- 草案标准（Draft Standard）：此规范已经被很好地理解，并且被认为是稳定的。它可以被用作开发最后实现的基础。在这个阶段，它需要的是具体的 RFC 测试和注释。在成为标准的协议之前，它仍有可能被改变。
- 因特网标准（Internet Standard）：当规范经过有效的实现和成功的运行，并且达到了很高的技术成熟度时，IESG 将 RFC 文档设立为官方的标准协议并分配给它一个 STD 号码。有时通过查看 STD 文件，可以比查看 RFC 更容易找到一个协议的 Internet 标准。

（2）非标准轨迹

不是每个规范都进入标准轨迹。有的规范可能没有打算成为 Internet 标准，或者还未准备进

入标准轨迹，有的已被更新的标准所取代，有的已被弃用或者被拒绝。未进入标准轨迹的规范有如下 3 个成熟等级。

- 实验性的（Experimental）：作为 Internet 技术社区的一般信息发布，是研究和开发工作的归档记录。这些规范可能是 IRTF 研究小组、IETF 工作组有组织的 Internet 研究结果，也可能是个人作出的贡献。这种 RFC 属于正在实验的情况，不能够在任何实用的 Internet 服务中实现。
- 信息性的（Informational）：作为 Internet 社区的一般信息发布，但并不表示得到 Internet 社区的的推荐和认可。一些由 Internet 社区以外的协议组织和提供者提出的未纳入 Internet 标准的规范也可以发布信息性的 RFC。
- 历史性的（Historic）：这些规范要么已经被更新的规范取代了，要么已经过时了。

1.2　OSI 参考模型

为降低设计的复杂性，增强通用性和兼容性，计算机网络都设计成层次结构。分层法最核心的思路是上一层的功能建立在下一层的功能基础上，并且在每一层内均要遵守一定的规则。早期的计算机网络及其设计方案是专有的，各种不同通信体系结构的发展增强了系统成员之间的通信能力，但是同时也产生了不同厂家之间的通信障碍，为此制订了网络分层的国际标准——OSI/RM（开放式系统互联参考模型）。这种分层体系使不同的多种硬件系统和软件系统能够方便地连接到网络，按照这个标准设计和建成的计算机网络系统都可以互相连接。

确切地说，OSI 不是规范，而是一个抽象的参考模型，或者说是概念框架，它没有提供任何具体的实现标准。对多数人来说，OSI 似乎没有什么用处，不知道 OSI，仍然可以组建和维护一个简单的网络。然而，专业的网络管理员和网络工程师一定要了解 OSI，因为现有网络大多可通过 OSI 模型来进行分析，了解 OSI 模型有助于分析和管理网络。

1.2.1　OSI 参考模型的层次结构

OSI 是一个分层结构，共有 7 层，从下往上分别是：物理层、数据链路层（通常简称链路层）、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层，如图 1-2 所示。其中各个功能层执行特定的、相对简单的任务。每一层都由上一层支配，并从上一层接收数据，为上一层提供服务。

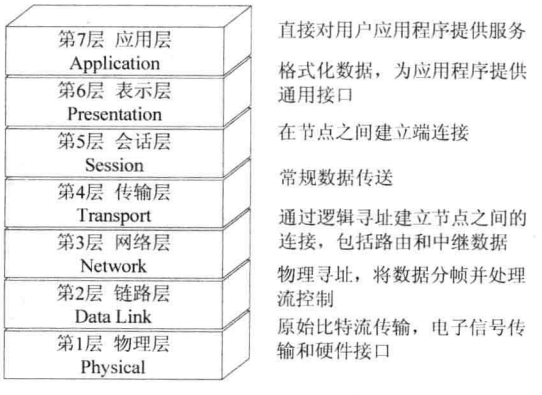

图 1-2　OSI 参考模型的分层结构

第 1 层至第 3 层主要是完成数据交换和数据传输，称为网络低层，即通信子网；第 5 层至第 7 层主要是完成信息处理服务的功能，称为网络高层；低层与高层之间由第 4 层衔接。通常也将会话层、表示层和应用层统称为应用层，将传输层及以下各层统称为数据传输层。

OSI 具有以下主要特点。

- 它定义的是一种抽象结构，并未明确如何实现其中每一层的功能。
- 每一层所完成的功能都是独立的，与其他层完成的功能无关。
- 每一层的功能自成体系，使开放互联成为可能。
- 低层为高层服务，高层可以忽略低层的分层细节，便于网络开发和设计。
- 相邻的两层之间提供有接口，便于两层之间的通信。
- 它仅仅是一种参考，实际的网络体系并未将其每一层的功能实现，而是省略某些层。

1.2.2 OSI 参考模型的通信机制

OSI 参考模型采用逐层传递、对等通信的机制。整个通信过程都必须经过一个自上而下（发送方），或自下而上（接收方）的数据传输过程，但通信必须在双方对等层次进行。

网络中的节点之间要相互通信，必须经过一层一层的信息转换来实现。源主机向目标主机发送数据，数据必须逐层封装（也称数据打包），目标主机接收数据后，必须对封装的数据进行逐层分解（称为解封）。

如图 1-3 所示，当计算机要传送某个数据时，数据从应用层开始，自上而下地通过表示层、会话层、传输层、网络层、链路层，直至物理层。每经过一层，都会对数据附加上该层相应的协议信息。在给定的某一层，信息单元的数据部分包含来自于所有上层的首部、尾部和数据。对于从上一层传送下来的数据，附加在前面的控制信息称为首部（包头），附加在后面的控制信息称为尾部（包尾）。当数据到达物理层时，便将其直接转换为由 0 和 1 组成的比特流，然后传输到物理连接介质上。

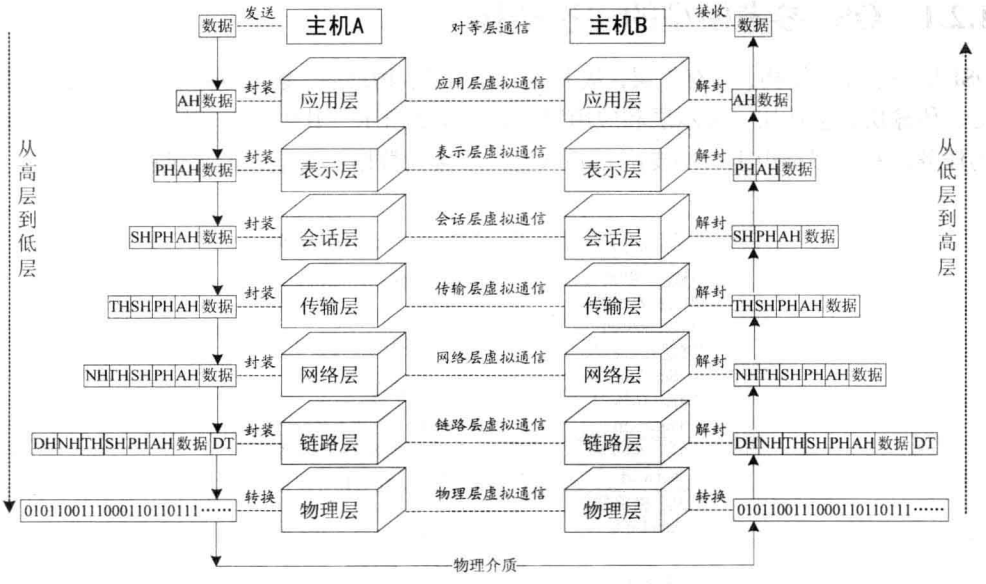

图 1-3　OSI 参考模型的通信机制

当计算机接收来自网络连接介质的比特流（位流）数据，数据通过物理层时，将比特流“逆转换”后交给链路层，然后自下而上地通过链路层、网络层、传输层、会话层、表示层，直至应用层。每经过一层，都会对附加有该层相应的协议信息的数据进行解封。当数据到达应用层时，便将还原的数据交给应用程序，完成一个通信过程。

对于用户来说，这种数据通信看起来就好像是两台计算机相关联的同等层次直接进行的，而对同一主机内的相邻层次之间的通信是透明的，两台主机的通信看起来就像在通信的双方对应层之间就建立了一种逻辑的、虚拟的通信。

实际上，真正的通信只发生在同一台计算机内彼此相邻的两层之间，比特流、数据帧，或者数据分组先是在发送主机内的相邻层之间自上而下传递，当到达物理层后再通过传输介质传递到接收主机的物理层，随后再自下而上传递，从而实现对等层通信。对等层由于通信并不是直接进行，因而又称为虚拟通信。

OSI 定义的标准框架只是一种抽象的分层结构，具体的实现则有赖于各种网络体系的具体标准，它们通常是一组可操作的协议集合，对应于网络分层，不同层次有不同的通信协议。IPX/SPX、AppleTalk、TCP/IP 等都是著名的网络通信协议。

1.2.3　协议数据单元（PDU）

OSI 参考模型的各层传输的数据和控制信息具有多种格式。在网络各层的实体之间传送的比特组称为数据单元（Data Unit）。常用的数据单元有服务数据单元（SDU）和协议数据单元（PDU）。SDU 是在同一主机上的两层之间传送的信息。PDU 是发送主机上每层的信息发送到接收主机上的相应层（对等层间交流所用的）的信息。对等层之间传送数据单元是按照该层协议进行的，因此这时的数据单元称为协议数据单元（PDU）。由于格式不同，PDU 在不同层往往有不同的叫法，各层 PDU 说明如下。

- 物理层称为位流或比特流，格式如下。

00110000110101011011000111。

- 链路层称为帧（Frame），格式如下。

帧首部	包首部	段首部	数据	帧尾部

- 网络层中称为分组或包（Packet），格式如下。

包首部	段首部	数据

- 传输层中称为段（Segment）、数据段或报文段，格式如下。

段首部	数据

- 应用层中称为报文或消息（Message）。当数据从一层传输到相邻层的时候，支持各功能层协议的软件负责相应的格式转换。

1.2.4　OSI 各层功能和对应的网络管理工作

各层功能说明和对应的网络管理工作见表 1-1。

表 1-1　　OSI 各层功能与管理

层　次	特性和功能	对应的网络应用示例	对应的网管业务示例
物理层	① 位于最底层，定义物理链路所要求的机械、电气和功能特性，包括线路的物理特征和通信连接的工作方式（全双工或半双工） ② 负责建立、维持和断开两个网络节点之间的物理连接，以传递通信数据	网络连接线缆（如光纤、双绞线、同轴电缆）、网卡、集线器（Hub）等设备的物理特性定义	网络布线设计、线路测试与排故、网卡选型
链路层	① 确保网络节点之间的数据帧可靠地传输，将所有数据转换成一种称为帧（Frame）的数据单元，链路层负责创建并检测数据帧，为网络层的物理连接提供一条无差错的链路 ② 对网络层隐藏了物理实现，数据帧依赖于底层的网络技术，使网络层的连接与具体的网络技术无关，不管是以太网还是令牌环网，对于网络层都是一样的	网络适配器（如网卡）代表的就是数据链路层，交换机和网桥也属于链路层设备	网桥配置、二层交换机使用、数据帧分析、VPN 虚拟电路
网络层	① 确保网络节点之间的数据包的传输，将数据转换成一种称为数据包（Packet）的数据单元，每一个数据包中都含有目的地址和源地址，以满足路由和寻径的需要 ② 由于采用分组交换技术，节点之间不必建立直接的物理连接，由网络层协议来决定数据到达目的地的路径，负责处理网络通信、堵塞和介质传输速率	IPX 协议和 TCP/IP 协议中的 IP 都是典型的网络层协议；路由器是典型的网络层设备；智能交换机支持网络层路由	路由器配置、三层交换机配置、IPSec 安全传输、数据包分析与过滤、防火墙配置、IP 地址管理
传输层	① 提供网络节点之间的可靠数据传输，将应用层与其他数据传输的各层隔离出来。负责将数据转换成网络传输所需的格式，检测传输结果，并纠正不成功的传输 ② 将从会话层接收的数据拆分成网络层所要求的数据包，进行传输；在接收端将经网络层传来的数据包进行重新装配，提供给会话层	TCP 是一个典型的跨平台的、支持异构网络的传输层协议；SPX 在 NetWare 网络上提供可靠的数据传输	TCP 和 UDP 协议配置、端口过滤、端口映射、代理服务器配置
会话层	负责在各网络节点应用程序或者进程之间的协商和连接，不仅建立合适的连接，而且验证会话双方，要求双方提供身份验证	NetBIOS 是会话层协议	NetBIOS 名称解析
表示层	确保一个应用程序的命令和数据能被网络上其他计算机理解，也就是将一种格式转换成另一种格式的数据转换，使用户之间的通信尽可能简化，与设备无关	表示层格式转换，包括打印机的网络接口、视频显示和文件格式等	打印机驱动
应用层	① 位于最高层，直接面向用户，提供计算机网络与最终用户的界面 ② 提供完成特定网络服务功能所需的各种应用程序协议，其他 6 个层次解决了网络通信和表示的问题应用程序相互请求数据和服务的信息，提供分散的服务，包括文件传输、数据库管理、网络管理等	网络操作系统就是应用层协议，电子邮件、WWW 服务都是应用层的软件	Web 网站配置与管理、电子邮件系统配置