

21世纪高等学校规划教材 | 计算机科学与技术



网络协议实践教程

陈 虹 李建东 主编



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 计算机科学与技术

网络协议实践教程

陈 虹 李建东 主编

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统详细介绍网络协议的原理、功能及实验方法。主要内容包括网络协议的基本概念、网络协议分层体系结构；典型的物理层协议；数据链路层协议机制、局域网协议和广域网协议；IP 协议、ARP 协议、Internet 控制协议；TCP、UDP 协议；DNS 协议、文件传输协议、邮件传输协议、远程登录协议和超文本传输协议；动态主机配置协议；网络管理协议等。每章结束时对本章重点内容进行了简要概括，并附有习题，部分章节附有实验。内容丰富、概念清晰、系统性强、重点突出，注重理论联系实际是本书的特点。

本书既可作为高等院校网络工程、软件工程及相关专业网络协议、计算机网络等课程教材，也可供从事计算机网络研究和应用的开发人员、管理人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

网络协议实践教程/陈虹,李建东主编. —北京:清华大学出版社, 2012.1

(21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术)

ISBN 978-7-302-26662-4

I. ①网… II. ①陈… ②李… 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(2011)第 180320 号

责任编辑:梁 颖

责任校对:梁 毅

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京市人民文学印刷厂

装 订 者:三河市兴旺装订有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:15.5 字 数:384 千字

版 次:2012 年 1 月第 1 版 印 次:2012 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:25.00 元

产品编号:043698-01

编审委员会成员

(按地区排序)

清华大学

周立柱 教授
覃 征 教授
王建民 教授
冯建华 教授
刘 强 副教授

北京大学

杨冬青 教授
陈 钟 教授
陈立军 副教授

北京航空航天大学

马殿富 教授
吴超英 副教授
姚淑珍 教授

中国人民大学

王 珊 教授
孟小峰 教授
陈 红 教授

北京师范大学

周明全 教授

北京交通大学

阮秋琦 教授
赵 宏 副教授

北京信息工程学院

孟庆昌 教授

北京科技大学

杨炳儒 教授

石油大学

陈 明 教授

天津大学

艾德才 教授

复旦大学

吴立德 教授
吴百锋 教授
杨卫东 副教授

同济大学

苗夺谦 教授
徐 安 教授

华东理工大学

邵志清 教授

华东师范大学

杨宗源 教授

东华大学

应吉康 教授
乐嘉锦 教授
孙 莉 副教授

浙江大学	吴朝晖	教授
	李善平	教授
扬州大学	李 云	教授
南京大学	骆 斌	教授
	黄 强	副教授
南京航空航天大学	黄志球	教授
	秦小麟	教授
南京理工大学	张功萱	教授
南京邮电学院	朱秀昌	教授
苏州大学	王宜怀	教授
	陈建明	副教授
江苏大学	鲍可进	教授
中国矿业大学	张 艳	教授
武汉大学	何炎祥	教授
华中科技大学	刘乐善	教授
中南财经政法大学	刘腾红	教授
华中师范大学	叶俊民	教授
	郑世珏	教授
	陈 利	教授
江汉大学	颜 彬	教授
国防科技大学	赵克佳	教授
	邹北骥	教授
中南大学	刘卫国	教授
湖南大学	林亚平	教授
西安交通大学	沈钧毅	教授
	齐 勇	教授
长安大学	巨永锋	教授
哈尔滨工业大学	郭茂祖	教授
吉林大学	徐一平	教授
	毕 强	教授
山东大学	孟祥旭	教授
	郝兴伟	教授
中山大学	潘小轰	教授
厦门大学	冯少荣	教授
仰恩大学	张思民	教授
云南大学	刘惟一	教授
电子科技大学	刘乃琦	教授
	罗 蕾	教授
成都理工大学	蔡 淮	教授
	于 春	副教授
西南交通大学	曾华荣	教授

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化,高等教育也得到了快速发展,各地高校紧密结合地方经济建设发展需要,科学运用市场调节机制,加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度,通过教育改革合理调整和配置了教育资源,优化了传统学科专业,积极为地方经济建设输送人才,为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是,高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要,不少高校的专业设置和结构不尽合理,教师队伍整体素质亟待提高,人才培养模式、教学内容和教学方法需要进一步转变,学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月,教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》,计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程”(简称“质量工程”),通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容,进一步深化高等学校教学改革,提高人才培养的能力和水平,更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中,各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势,对其特色专业及特色课程(群)加以规划、整理和总结,更新教学内容、改革课程体系,建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上,经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建议,清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程,分别规划出版系列教材,以配合“质量工程”的实施,满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作,提高教学质量的若干意见》精神,紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”,在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下,我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”(以下简称“编委会”),旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划,讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师,其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求,“编委会”一致认为,精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求,处于一个比较高的起点上。精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要,要有特色风格、有创新性(新体系、新内容、新手段、新思路,教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量)、先进性(对原有的学科体系有实质性的改革和发展,顺应并符合21世纪教学发展的规律,代表并引领课程发展的趋势和方向)、示范性(教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性)和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐(通过所在高校的“编委会”成员推荐),经“编委会”认真评审,最后由清华大学出版

社审定出版。

目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个“编委会”,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

(1) 21 世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。

(2) 21 世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。

(3) 21 世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。

(4) 21 世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。

(5) 21 世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。

(6) 21 世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。

(7) 21 世纪高等学校规划教材·电子商务。

(8) 21 世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人:魏江江

E-mail:wei jj@tup.tsinghua.edu.cn

计算机网络中,两个相互通信的实体通常处于不同的地理位置,其上的两个进程相互通信,需要通过交换控制信息来协调它们的动作进而达到同步,信息的交换必须按照预先共同约定好的规则进行,这个规则就是网络协议。因此,网络协议就是为计算机网络中进行数据交换而建立的规则、标准或约定的集合。一个网络协议至少包括语法、语义和时序 3 个要素。

网络协议是计算机网络的灵魂,没有协议网络结点间交换数据无从谈起,更不会有今天的 Internet。网络协议是伴随着计算机网络同步发展的。随着计算机网络由简单到复杂、由面向终端到以通信子网为中心的发展,网络协议也得到了快速发展:由简单的点对点通信协议发展到点对多点通信协议,由同构网协议发展到异构网协议。正是由于快速发展的网络协议对计算机网络的支撑,才造就了“地球村”,使得网络通信快速、可靠和准确。因此,网络协议在计算机网络发展中占据着重要地位,可以说没有协议就没有网络。

由于网络体系结构是分层次的,则网络协议也是分层次的,不同层次有不同的协议。因此,网络各层协议众多,而且网络协议的基本概念、原理及工作过程都比较抽象,不易理解。本书所附实验可使学生在实验中真实看到各种网络协议的报文、协议的工作过程及结果,进而理解网络协议的工作原理,使得网络协议课程摆脱了枯燥乏味而变得生动,真正做到了理论联系实际,同时也能提高学生实践能力。

本书主要讲述了 IEEE 802 协议族和 TCP/IP 协议族中主要协议的相关内容及实验。对网络协议的基本概念、基本原理和方法力求全面、尽量做到深入浅出、理论联系实际、图文并茂等。本书的特点是概念清晰、内容丰富、系统性强、重点突出、实验丰富、实践性强。

本书共分 8 章,具体内容安排如下。

第 1 章概述网络协议的概念、网络协议的分层体系结构及两种典型的网络体系结构——OSI 模型和 TCP/IP 模型,并着重理解二者的异同。

第 2 章介绍物理层协议的四个基本特性,物理层协议的作用,两个典型的物理层协议 RS-232C 和 X. 21 协议的结构、原理和工作过程。

第 3 章主要讲述数据链路层协议的基本概念和停止-等待 ARQ 及滑动窗口两类协议的结构、工作原理,对数据链路层的差错控制方法、成帧机制进行了讨论,并结合局域网协议(IEEE 802 协议族)和广域网协议讨论了当前主流的数据链路层协议的帧结构、工作原理及实验验证。

第 4 章网络层协议主要讲述 IP 数据报格式、IP 数据报首部校验和、数据分片与重组、IP 协议模块及 IP 路由寻址;地址解析协议(ARP)和反向地址解析协议(RARP)的原理、报文格式及处理过程;Internet 控制报文协议(ICMP)和 Internet 组管理协议(IGMP)提供的各种类型报文格式、原理及处理过程;简要介绍 IP 路由选择协议 RIP 和 OSPF 的报文格式及工作原理等。

第5章概述传输层提供的服务、传输层寻址与端口的概念,着重讲述了用户数据报协议(UDP)的报文格式、UDP 伪首部的作用及 UDP 软件模块构成,传输控制协议(TCP)的报文格式、TCP 连接管理、TCP 流量控制、TCP 拥塞控制和 TCP 定时管理机制等内容。

第6章主要介绍几个典型的应用层协议。域名系统(DNS)的名字空间构成、DNS 报文格式、资源记录和域名服务器的作用、域名解析服务过程;文件传输协议 FTP 的进程模型、FTP 的命令与应答及简单文件传输协议 TFTP;电子邮件的基本概念、邮件传输协议 SMTP 和邮件获取协议 POP 的命令集及运行过程;远程登录协议 Telnet 的基本概念、Telnet 命令、Telnet 选项及协商、Telnet 子选项协商过程;超文本传输协议 HTTP 的一般格式、HTTP 请求报文和响应报文。

第7章介绍引导协议 BOOTP 与动态主机配置协议 DHCP 的基本概念、报文格式、工作原理及运行方式等。

第8章简要介绍网络管理的结构、网络管理协议体系结构、TRAP 导致的轮询,简单网络管理协议(SNMP)的概念、协议数据单元及工作原理。

第3~8章提供15个相关实验,各实验均给出了实验目的、实验准备、实验原理、实验过程及思考题等。目的明确、操作性强,通过实验可以使学生较好地理解掌握抽象的网络协议知识。

本书由陈虹统稿,其中第1、3、5章等由陈虹编写,第2章由徐娇月编写,第4章由李红霞和李婕娜编写,第6、7章由李建东编写,第8章由张志杰编写。本书实验内容及过程基于中软吉大计算机网络实验教学系统,实验部分的编写参照了中软吉大的实验教程,在此对中软吉大表示感谢。本书在编写过程中得到了辽宁工程技术大学教务处、辽宁工程技术大学软件学院和清华大学出版社的大力支持与帮助。在本书出版之际,谨向上述部门和单位表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥和疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

本书联系 E-mail: chh3188@163.com。

编 者

2011年6月

目 录

第 1 章 网络协议概述	1
1.1 网络协议的分层体系结构	1
1.1.1 网络协议概念	1
1.1.2 网络协议分层概念	2
1.2 OSI 分层模型	5
1.3 TCP/IP 分层模型	8
本章要点	9
习题	9
第 2 章 物理层协议	12
2.1 物理层协议概述	12
2.2 典型的物理层协议	14
2.2.1 EIA-232 / CCITT V. 24 协议	14
2.2.2 X. 21 协议	18
本章要点	21
习题	21
第 3 章 数据链路层协议	23
3.1 数据链路层概述	23
3.2 差错控制	25
3.2.1 传输差错	25
3.2.2 差错控制方法	26
3.3 数据链路层成帧机制	30
3.4 数据链路层协议机制	32
3.4.1 停止-等待 ARQ 协议	32
3.4.2 滑动窗口协议	36
3.5 局域网协议	42
3.5.1 局域网体系结构	42
3.5.2 IEEE 802 协议族	44
3.6 广域网协议	53
3.6.1 高级数据链路控制规程(HDLC)	54
3.6.2 点到点协议(PPP)	60

本章要点	64
习题	64
本章实验	66
第 4 章 网络层协议	69
4.1 IP 协议	69
4.1.1 IP 地址	70
4.1.2 IP 数据报	72
4.1.3 子网规划	76
4.1.4 IP 地址转换	78
4.1.5 IP 路由表	80
4.2 Internet 地址解析协议	83
4.2.1 地址解析协议(ARP)	83
4.2.2 反向地址解析协议(RARP)	86
4.3 Internet 控制协议	87
4.3.1 Internet 控制报文协议(ICMP)	87
4.3.2 Internet 组管理协议(IGMP)	95
4.4 IP 路由选择协议	100
4.4.1 内部网关路由选择协议	100
4.4.2 外部网关路由选择协议	107
4.5 X.25 的网络层协议	110
4.5.1 X.25 分组层简介	110
4.5.2 X.25 的分组格式	110
4.5.3 虚电路的建立和清除	112
本章要点	113
习题	113
本章实验	116
第 5 章 传输层协议	126
5.1 传输层概述	126
5.1.1 传输层提供的服务	126
5.1.2 传输层寻址与端口	127
5.1.3 无连接服务与面向连接服务	129
5.2 用户数据报协议(UDP)	130
5.2.1 UDP 概述	130
5.2.2 UDP 报文格式	131
5.2.3 UDP 伪首部	132
5.2.4 UDP 软件模块	133
5.3 传输控制协议(TCP)	134

5.3.1 TCP 概述	134
5.3.2 TCP 报文格式	136
5.3.3 TCP 连接管理	138
5.3.4 TCP 流量控制	143
5.3.5 TCP 拥塞控制	147
5.3.6 TCP 定时管理机制	152
本章要点	153
习题	153
本章实验	155
第 6 章 应用层协议	163
6.1 域名系统(DNS)	163
6.1.1 DNS 名字空间	163
6.1.2 DNS 报文格式	164
6.1.3 资源记录	166
6.1.4 域名服务器	167
6.1.5 域名解析服务	167
6.2 文件传输协议	169
6.2.1 TCP/IP 文件传输协议	169
6.2.2 FTP 模型	169
6.2.3 FTP 命令与应答	169
6.2.4 匿名 FTP	172
6.2.5 简单文件传输协议 TFTP	173
6.2.6 TFTP 报文格式	173
6.2.7 TFTP 与 FTP 的比较	174
6.3 邮件传输协议	175
6.3.1 电子邮件的基本概念	175
6.3.2 电子邮件地址	175
6.3.3 电子邮件信息格式	175
6.3.4 简单邮件传输协议	175
6.3.5 邮件获取协议	178
6.4 远程登录协议	180
6.4.1 基本概念	180
6.4.2 Telnet 命令	182
6.4.3 Telnet 选项及协商	182
6.4.4 Telnet 子选项协商	183
6.4.5 Telnet 操作示例	184
6.4.6 Rlogin	185
6.5 超文本传输协议	185

6.5.1 统一资源定位符	186
6.5.2 HTTP 概念	186
6.5.3 HTTP 一般格式	186
6.5.4 HTTP 请求报文	188
6.5.5 HTTP 响应报文	189
本章要点	190
习题	190
本章实验	191
第 7 章 引导协议与动态主机配置协议	198
7.1 引导协议 BOOTP	198
7.1.1 BOOTP 原理	198
7.1.2 BOOTP 报文	200
7.1.3 启动配置文件	202
7.2 动态主机配置协议	202
7.2.1 DHCP 基本概念	202
7.2.2 DHCP 运行方式	204
7.2.3 DHCP/BOOTP 中继代理	208
本章要点	209
习题	209
本章实验	210
第 8 章 简单网络管理协议(SNMP)	212
8.1 基本概念	212
8.1.1 网络管理结构	212
8.1.2 网络管理协议体系结构	213
8.1.3 TRAP 导致的轮询	215
8.1.4 委托	215
8.2 SNMP 协议	216
8.2.1 SNMP 协议概述	216
8.2.2 MIB	216
8.2.3 SMI	217
8.2.4 SNMP 协议操作	218
8.2.5 SNMP 协议数据单元	219
8.3 SNMP v2 协议	221
8.3.1 SNMP v2 协议数据单元	221
8.3.2 分散网络管理	221
8.3.3 安全功能	221
8.3.4 数据传输	221

8.4 SNMP v3 协议简介.....	222
本章要点.....	222
习题.....	222
本章实验.....	223
附录.....	228
参考文献.....	230

计算机网络是通过通信设备与线路将地理上分散并具有独立功能的计算机系统连接在一起,并由功能完善的软件来控制,进而实现资源共享的系统。从物理组成上来看,计算机网络包括硬件、软件和协议三大部分。计算机网络中结点间相互通信是由控制信息传送的网络协议及其他相应的网络软件共同实现的。因此,可以说硬件是计算机网络的基础,网络协议是计算机网络的灵魂。

1.1 网络协议的分层体系结构

1.1.1 网络协议概念

1. 网络协议的定义

所谓网络协议就是指为了能在计算机网络中进行数据交换,实现资源共享而建立的通信规则、标准或约定的集合。在计算机网络中,要使通信双方有条不紊地交换数据,就必须遵守双方事先约定的规则或标准,即遵循事先约定的网络协议。例如,网络中一个用户需要与另一个用户进行通信,但这两个用户的数据终端所采用的字符集有可能不同。因此,这两个用户所输入的命令彼此不认识,导致他们之间无法通信交互。双方为了能够顺利地进行通信,就必须采用一种方法,使得双方输入的命令能够相互理解。最常用的方法就是字符集转换,可以在发送端将待发送数据格式转换成接收端的格式,也可以在发送端不做任何处理而在接收端将数据转换成自己的格式,这样双方就都可以理解对方命令的含义了。但这两种方法都有一个比较致命的缺点,如果网络中有很多具有不同字符集的终端需要通信,那么每个终端都需要有很多字符转换规则,将自己的字符集与其他各终端字符集相互转换,这样,每个终端就会有非常庞大的字符集,而且一旦有新的字符集出现,各终端若不及时更新自己的字符转换规则,将造成无法通信的局面。因此,为了避免出现这种情况,规定了标准字符集,其转换规则是每个终端首先将自己字符集中的字符变换为标准字符集中的字符,然后再进入网络传送,到达目的终端后,再各自将其变换为接收终端(自己)字符集中的字符。这样一来,双方只要了解自己的字符集与标准字符集之间的转换规则即可,不必知道与其他每个终端的字符集之间的转换规则。有了这些转换规则的存在,计算机网络中各终端就可以相互通信了,这些转换规则和转换过程就是一种网络协议。对于不相容的终端,除了需变换字符集中的字符外,其他特性,如显示格式、行长、行数、屏幕滚动方式等也可能需做相应

的变换。这些都是网络协议的一部分。因此,网络协议包含的内容非常广泛。

2. 网络协议的基本要素

在计算机网络中,两个相互通信的实体(终端)处于不同的地理位置,其上的两个进程之间相互通信,需要通过交换一定的控制信息来协调它们的动作及达到双方同步。双方交换控制信息必须按照预先共同约定的规则(即网络协议)和过程进行。因此,一个网络协议至少包括以下 3 个基本要素。

- 语法:说明用户信息与控制信息的组成结构、格式和编码等问题,即说明怎么做的问题。
- 语义:说明通信双方需要发出的信息是什么、完成的动作是什么及做出的应答是什么等问题,即说明做什么的问题。
- 同步(又称时序或定时):说明通信双方完成动作的先后顺序、速度匹配和排序等问题。

1.1.2 网络协议分层概念

1. 通用的分层思想

计算机网络是一个庞大的集合,其体系结构非常复杂,需要有一个适当的方法来研究、设计和实现网络体系结构。网络体系结构是指对构成计算机网络的各组成部分及计算机网络本身所必须实现的功能的精确定义。即网络体系结构是计算机网络中的层次、各层的协议以及层间接口的集合。

为了简化问题,降低网络和网络协议设计的复杂性,使网络便于维护,提高网络运行效率,目前网络设计一般采用层次结构,各层次结构相对独立,实现的功能相对独立。除了最低层和最高层之外,中间每一层都是利用下一层提供的服务完成本层功能,同时为上一层提供一定的服务,并对上一层屏蔽本层服务实现的细节。分层的优点是层与层之间只在层间接口处关联,层间耦合最小。网络体系结构具有可分层的特性,同样网络协议也具有可分层的特性,各层协议互相协调,构成一个整体,通常称为协议集或协议族。

网络体系结构和协议依据一定的原则可以划分成如图 1-1 所示的层次结构,从最低层到最高层依次称为第 1 层、第 2 层,⋯,第 n 层,一般每层都会给出一个特定的名称,如第 1 层的名称通常为物理层,第 n 层称为应用层等。

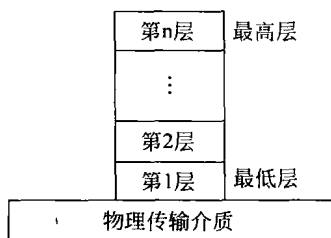


图 1-1 网络体系层次结构示意图

2. 协议分层的基本原则

分层应考虑的因素主要有层次清晰程度与运行效率间的关系,层次数量多少合适等问题。层次越多,每层的定义可能越清晰,其实现可能也越容易,但其总体运行效率可能会越低。

网络协议分层主要应遵循以下 4 条基本原则。

- 各层之间接口要清晰自然、易于理解,相互交流尽可能少。
- 各层功能的定义应独立于具体实现的方法。
- 保持下层对上层的相对独立性,单向使用下层提供的服务。
- 合理选择层数,使层次数足够多,每一层都易于管理;同时,层数又不能过多,避免综合开销过大。

3. 网络协议分层的优点

网络协议的分层是随着网络体系结构的分层而划分的,每层协议都从语法、语义和时序3个方面规定着每次的交互规则。因此,网络协议分层的优点主要有以下几条。

- 协议规则易于理解、交流、系统化和标准化。
- 协议各层次接口清晰,尽量减少层次间传递的信息量,便于各层次模块的独立实现、开发和调试。
- 各层次协议相对独立,实现细节独立,只要接口保持不变,允许用等效的功能模块灵活地替代某层次模块,而不影响相邻层次模块,因此,易于更新(替换单个模块)。
- 每一个层次的内部结构对上、下层屏蔽不可见,因此,易于抽象化。

4. 实体、协议、接口与服务的概念

计算机网络体系结构中涉及以下几个基本概念。

- 实体。所谓实体是指在计算机网络的分层结构中每一层中的活动元素,可以是硬件、软件或进程。为了区分不同层次的实体,通常将第 n 层活动元素称为 n 层实体,不同系统中同一层的实体称为对等层实体。
- 协议。协议(计算机网络协议)是指通信双方实现相同功能的相应层之间的通信规则的集合,通常称为对等层协议,协议是水平的。
- 接口。接口是指同一系统内部两个相邻层次之间的通信规则的集合。它是相邻两层之间的边界,是一个系统内部的规定。在传统网络中,每一层只在相邻的层次之间定义接口,不能为跨层定义接口。例如,第 n 层和第 $n+1$ 层之间有接口,但第 $n-1$ 层和第 $n+1$ 层之间不能有接口。近年来,对于跨层的研究,尤其是针对无线网络、光网络的跨层研究,取得了一定的成果,当跨层之间有直接关联时,以实现跨层之间必须的接口为目标的研究取得了一定的成果。接口与协议的关系如图 1-2 所示。

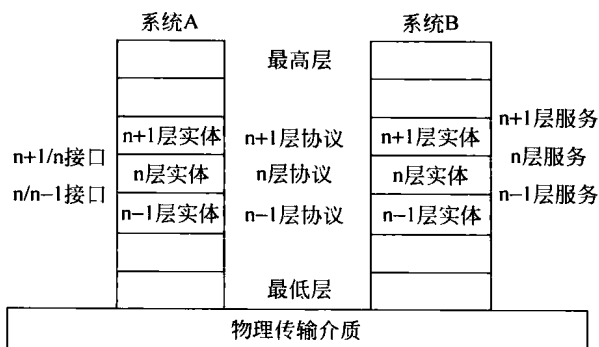


图 1-2 接口与协议的关系示意图