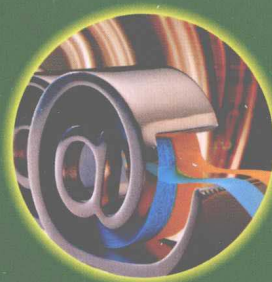
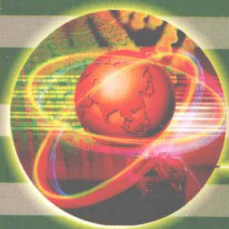


21世纪高等院校计算机科学规划教材

# Linux/UNIX网络编程

主 编 甘 刚  
参 编 闫丽丽 盛志伟  
主 审 冼 进



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

21 世纪高等院校计算机科学规划教材

# Linux/UNIX 网络编程

主 编 甘 刚

参 编 闫丽丽 盛志伟

主 审 冼 进



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书详细介绍了在 UNIX/Linux 系统下基于 TCP/IP 网络套接口的基本编程方法,包括迭代与并发服务器编写方法、进程与线程编程技术、I/O 编程技术、IPv4 与 IPv6 的兼容性、原始套接口、数据链路访问技术、广播与多播技术等。为满足教学实际需要,在本书最后一章给出了 Socket 基本编程、服务器与单客户的连接处理、多进程服务器模板、多线程编写模板和线程专用数据 TSD 实现模板 5 个实验指导。在本书编写过程中,编者参阅了国内外同类书籍及各类报刊杂志,将精华思想应用到教学实践中,形成的教学成果与体会反映在书中。在书中相关章节,编者都至少列举一个完整的例子来说明问题,学习者将书中的基础实验做好,再通过相关章节中的实验进行验证,就可以学习高级 Linux/UNIX 编程了。

本书在编写上力求由简到繁、由浅入深和循序渐进,读者不但可以学会程序设计的基本知识、设计思想和方法,还可以学会网络程序设计的通用方法与步骤。本书适合作为高等院校计算机及相关专业的教材,也可作为广大计算机爱好者、网络研究人员和网络程序开发人员的自学参考书。

本书配有免费电子教案,读者可以从中国水利水电出版社网站上下载,网址为:  
<http://www.waterpub.com.cn/softdown/>。

### 图书在版编目(CIP)数据

Linux/UNIX 网络编程 / 甘刚主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2008

21 世纪高等院校计算机科学规划教材

ISBN 978-7-5084-5467-2

I. L… II. 甘… III. ①Linux 操作系统—程序设计—高等学校—教材②UNIX 操作系统—程序设计—高等学校—教材 IV. TP316.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 085532 号

书 名	Linux/UNIX 网络编程
作 者	主 编 甘 刚 参 编 闫丽丽 盛志伟 主 审 冼 进
出版 发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)、82562819 (万水) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京诚顺达印刷有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 15.5 印张 378 千字
版 次	2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0001—4000 册
定 价	26.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 21 世纪高等院校计算机科学规划教材

## 编委会

主 任 袁开榜

副 主 任 孙春亮 杨庆川

### 编委名单

张仕斌 梅 挺 蔡乐才 吴文权

汪启荣 李秀疆 谢建华 甘 刚

冼 进 张 松 徐振明 刘 涛

瞿 中 黄同愿 李明富 刘文清

游洪跃 梁 洁 王立君 杨元泓

## 序

随着计算机科学与技术的发展, 计算机应用已经渗透到人们生活、工作和学习的方方面面, 从而日益改变着人类传统的工作与生活方式。这就要求当代大学生在校学习期间就应储备更多的计算机专业知识。

为了大力推广计算机应用技术, 更好地适应当前高等院校计算机教育模式的转变, 我们组织一批学术水平较高、教学经验丰富、实践能力较强的学术带头人、科研人员和从事相关课程教学的主要骨干教师, 对当前国内外高等院校计算机教育的教学现状与发展趋势、新形势下如何加强高等院校的教材建设等问题进行了深入的研究和探讨, 并成立了“21世纪高等院校计算机科学规划教材”编委会, 在明确了高校的人才培养模式、培养目标和课程体系的框架下, 组织编写了本套“21世纪高等院校计算机科学规划教材”。

本套教材具有以下显著特色:

(1) 充分体现了计算机教育教学第一线的需要。在编写之初, 编委会经过大量的前期调研和策划, 广泛地了解各高等院校的教学现状、市场需求, 研讨了课程设置、课程体系, 拟定了相关的知识单元和知识点, 充分听取了教学第一线教师对计算机教育的意见, 使本套教材充分反映了老师们的需求。

(2) 各高校计算机院(系)院长(主任)对本套教材的建设十分重视, 热情鼓励教师积极参与编写, 充分展现了各个高校在计算机教育教学改革中取得的最新教研成果。

(3) 本套教材在内容安排上既注重内容的全面性, 也充分考虑了不同学科、不同专业对计算机知识不同需求的特殊性。

(4) 本套教材为了充分调动学生分析问题、解决问题的积极性, 以及锻炼学生的实际动手能力, 在全书中大力增加了实践检验所占的比重。

(5) 力求实践性强是本套教材的一大特色, 通过案例教学, 将最急需、最实用的计算机知识传授给学生。

为进一步体现实用性, 本配套教材在编写时配有课程学习辅导、实验指导、综合实训、电子教案等, 以使教材向多元化、多媒体化发展, 满足广大教师的教学需要。

总之, 本套教材凝聚了众多长期工作在教学、科研第一线的教师及科研人员的教学科研成果、教学经验和智慧, 在写法上体现了理论与实践相结合, 相关的知识点讲解清晰、透彻, 注重教学实践, 力求科学实用, 符合教学习惯。语言通俗易懂, 内容丰富翔实, 既有对基本理论及使用方法的透彻讲解, 又注重实例与技巧的融会贯通。这套教材是新形势下计算机教育改革的一种新的尝试, “新”就会有許多值得修改的地方。我们期待广大读者对本套规划教材提出宝贵意见, 以便进一步修订, 使本套规划教材不断完善和提高。

21世纪高等院校计算机科学规划教材编委会

主任 袁开榜

2006年6月

# 前 言

随着 Internet 的快速发展,使用 UNIX 和 Linux 作为服务器主机的系统越来越多,而因为这种操作系统的稳定性和安全性,也使得基于 UNIX 和 Linux 的应用服务越来越多。掌握基于 UNIX 和 Linux 环境的编程技术,已成为相关网络管理人员、网络应用程序开发人员和网络安全保障人员的必备技能。

## 本书特点:

本书在编写上力求由简到繁、由浅入深和循序渐进,读者不但可以学会程序设计的基本知识、设计思想和方法,还可以学会网络程序设计的通用方法与步骤。

本书中的每个知识点都是以简短的篇幅介绍其中最基本、最常用的内容。通过精心设计的一些编程实例,介绍程序设计的基本方法,避免枯燥和空洞,在不知不觉中使读者学会 UNIX/Linux 环境中的编程技术,从而激发读者对网络编程的兴趣。

## 本书内容安排:

本书详细介绍了在 UNIX/Linux 系统下基于 TCP/IP 网络套接口的基本编程方法,包括迭代与并发服务器编写方法、进程与线程编程技术、I/O 编程技术、IPv4 与 IPv6 的兼容性、原始套接口、数据链路访问技术、广播与多播技术等。本书每章后面都附有丰富的理论巩固题和上机实践题,有助于读者复习、巩固所学知识,以培养读者的实际编程能力。

此外,为满足教学中的实际需要,在本书最后一章还给出了 Socket 基本编程、服务器与单客户的连接处理、多进程服务器模板、多线程编写模板和线程专用数据 TSD 实现模板 5 个实验指导。

书中所用到的函数都是标准函数,可以在 UNIX/Linux 系统上运行,所有实例程序都已在 UNIX/Linux 中调试通过。

## 本书适用对象:

- 大中专院校相关专业学生。
- 高等职业技术学院相关专业学生。
- 计算机培训教师和学员。
- 计算机爱好者和相关技术人员。

在本书中,“注意”中所列的内容为学员容易混淆而在授课时教师需要特别澄清的概念和问题,“提示”中所列的内容是对实际操作有帮助的一些经验性的方法和技巧。

本书由甘刚任主编,闫丽丽、盛志伟参编。另外,参与本书部分章节编写的还有:文黎繁、王治国、冯强、曾德惠、许庆华、程亮、周聪、黄志平、胡松、邢永峰、邵军、边海龙、刘达

因、赵婷、马鸿娟、侯桐、赵光明、李胜、李辉、侯杰、王红研、王磊、闫守红、康涌泉、李欢、蒋杼倩、王小东、张森、张正亮、宋利梅、何群芬、程瑶，在此向他们表示衷心的感谢。

由于作者水平所限，加之网络技术发展迅速，本教材的覆盖面广，书中错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。我们的联系方式：[china\\_54@tom.com](mailto:china_54@tom.com)。

编者

2008年5月

# 目 录

序	
前言	
<b>第 1 章 TCP/IP 简介</b>	<b>1</b>
1.1 概述	1
1.1.1 基本的 C/S 服务模型	1
1.1.2 OSI 模型和 TCP/IP 四层结构	2
1.2 IP 协议介绍	3
1.2.1 IP 数据报的格式	3
1.2.2 IP 地址	4
1.2.3 子网掩码 (subnet mask)	5
1.3 TCP 协议介绍	6
1.3.1 TCP 连接的建立与终止	7
1.3.2 TCP 状态转换图	8
1.4 UDP 协议	10
1.5 端口号	10
1.6 本章小结	10
1.7 实战检验	11
理论巩固	11
<b>第 2 章 套接字编程简介</b>	<b>12</b>
2.1 套接字基础	12
2.2 套接字的类型	13
2.3 套接字地址结构	13
2.3.1 IPv4 套接字地址结构	13
2.3.2 IPv6 套接字地址结构	14
2.3.3 两种套接字地址结构的比较	15
2.3.4 通用套接字地址结构	15
2.4 套接字基本函数	16
2.4.1 字节排序函数	16
2.4.2 字节操纵函数	17
2.4.3 IP 地址转换函数	17
2.4.4 isfdtype() 函数	19
2.5 值-结果参数	19
2.6 本章小结	20
2.7 实战检验	20



理论巩固 .....	20
上机实战 .....	21
<b>第 3 章 基本 TCP 套接字编程 .....</b>	<b>22</b>
3.1 TCP 套接字编程 .....	22
3.1.1 socket()函数 .....	23
3.1.2 connect()函数 .....	24
3.1.3 bind()函数 .....	25
3.1.4 listen()函数 .....	27
3.1.5 accept()函数 .....	28
3.1.6 数据传输函数 .....	29
3.1.7 close()函数 .....	31
3.2 TCP 套接字编程实例 .....	31
3.3 服务器的 3 种异常情况 .....	35
3.3.1 服务器主机崩溃 .....	36
3.3.2 服务器主机崩溃后重启 .....	36
3.3.3 服务器主机关闭 .....	37
3.4 本章小结 .....	37
3.5 实战检验 .....	38
理论巩固 .....	38
上机实战 .....	38
<b>第 4 章 基本 UDP 套接口编程 .....</b>	<b>39</b>
4.1 UDP 套接字编程 .....	39
4.1.1 recvfrom()函数 .....	40
4.1.2 sendto 函数 .....	41
4.2 UDP 套接字编程实例 .....	42
4.3 UDP 中对数据报的各项处理 .....	46
4.3.1 数据报的丢失 .....	46
4.3.2 验证收到的响应 .....	46
4.3.3 服务器进程未运行 .....	47
4.4 connect 函数用于 UDP .....	47
4.5 本章小结 .....	48
4.6 实战检验 .....	49
理论巩固 .....	49
上机实战 .....	49
<b>第 5 章 并发服务器 .....</b>	<b>50</b>
5.1 服务器的分类 .....	50
5.2 多进程并发服务器 .....	51
5.2.1 进程基础 .....	51
5.2.2 进程创建 .....	51

5.2.3	进程终止 .....	54
5.2.4	多进程并发服务器 .....	56
5.2.5	多进程并发服务器实例 .....	57
5.3	多线程服务器 .....	63
5.3.1	线程基础 .....	64
5.3.2	线程基础函数 .....	64
5.3.3	给新线程传递参数 .....	66
5.3.4	多线程并发服务器实例 .....	68
5.3.5	线程安全函数 .....	72
5.3.6	线程安全实例 .....	77
5.3.7	用函数参变量实现线程安全性 .....	82
5.4	本章小结 .....	85
5.5	实战检验 .....	86
	理论巩固 .....	86
	上机实战 .....	86
<b>第 6 章</b>	<b>名字与地址转换编程 .....</b>	<b>87</b>
6.1	概述 .....	87
6.2	域名系统 .....	87
6.3	gethostbyname()函数 .....	88
6.4	RES_USE_INET6 解析器选项 .....	91
6.5	gethostbyname2 函数对 IPv6 的支持 .....	91
6.6	gethostbyaddr()函数 .....	93
6.7	uname()函数 .....	93
6.8	gethostname 函数 .....	94
6.9	getservbyname 和 getservbyport 函数 .....	95
6.10	getaddrinfo、gai_strerror 和 host_serv 函数 .....	96
6.11	freeaddrinfo 函数 .....	99
6.12	使用 getaddrinfo 的 TCP 和 UDP .....	100
6.13	getnameinfo 函数 .....	105
6.14	gethostbyaddr 实例 .....	105
6.15	本章小结 .....	106
6.16	实战检验 .....	107
	理论巩固 .....	107
	上机实战 .....	107
<b>第 7 章</b>	<b>IPv4 和 IPv6 编程 .....</b>	<b>108</b>
7.1	IPv4 客户与 IPv6 服务器 .....	108
7.2	IPv6 客户与 IPv4 服务器 .....	110
7.3	IPv6_ADDRFORM 套接口选项 .....	111
7.4	IPv6 地址测试宏 .....	112

7.5	源代码的可移植性 .....	112
7.6	本章小结 .....	113
7.7	实战检验 .....	113
	理论巩固 .....	113
	上机实战 .....	113
<b>第 8 章</b>	<b>守护进程和 inetd 超级服务器 .....</b>	<b>114</b>
8.1	守护进程的原理 .....	114
8.1.1	启动守护进程 .....	114
8.1.2	输出守护进程消息 .....	115
8.1.3	syslog 函数 .....	115
8.1.4	创建守护进程 .....	118
8.1.5	以守护进程方式运行的时间服务器 .....	119
8.2	inetd 的工作原理 .....	122
8.2.1	概念 .....	122
8.2.2	工作流程 .....	123
8.2.3	inetd 处理并发 .....	125
8.3	本章小结 .....	125
8.4	实战检验 .....	126
	理论巩固 .....	126
	上机实战 .....	126
<b>第 9 章</b>	<b>I/O 编程 .....</b>	<b>127</b>
9.1	I/O 模型 .....	127
9.2	select 函数 .....	130
9.3	shutdown 函数 .....	132
9.4	poll 函数 .....	133
9.5	使用 select 函数的 TCP 例子 .....	135
9.6	高级的 I/O 编程 .....	140
9.6.1	recv 和 send 函数 .....	140
9.6.2	recvmsg 和 sendmsg 函数 .....	141
9.7	非阻塞 connect .....	143
9.8	ioctl 函数 .....	145
9.8.1	套接口操作 .....	146
9.8.2	文件操作 .....	146
9.8.3	接口配置 .....	146
9.8.4	接口操作 .....	147
9.8.5	ARP 操作 .....	148
9.8.6	路由表操作 .....	148
9.9	本章小结 .....	148
9.10	实战检验 .....	149

理论巩固 .....	149
上机实战 .....	149
<b>第 10 章 广播与多播编程 .....</b>	<b>150</b>
10.1 广播的概念 .....	150
10.1.1 广播的原理 .....	150
10.1.2 广播的示例 .....	152
10.2 多播概念 .....	155
10.2.1 多播与广播的比较 .....	155
10.2.2 多播套接口选项 .....	156
10.2.3 多播的实例 .....	157
10.3 本章小结 .....	159
10.4 理论与巩固 .....	159
实战检验 .....	159
上机实战 .....	159
<b>第 11 章 路由套接口编程 .....</b>	<b>160</b>
11.1 概念和数据链路套接口地址结构 .....	160
11.2 sysctl 操作 .....	165
11.3 接口名和索引函数 .....	166
11.4 本章小结 .....	167
11.5 实战检验 .....	168
理论与巩固 .....	168
上机实战 .....	168
<b>第 12 章 信号量编程 .....</b>	<b>169</b>
12.1 信号的概念 .....	169
12.2 信号的概念及常见信号介绍 .....	169
12.2.1 signal 函数 .....	173
12.2.2 处理 SIGCHLD 信号 .....	174
12.2.3 wait 和 waitpid 函数 .....	175
12.2.4 kill 和 raise 函数 .....	177
12.2.5 SIGPIPE 信号 .....	178
12.2.6 alarm 和 pause 函数 .....	178
12.2.7 sigprocmask 函数 .....	179
12.2.8 sigpending 函数 .....	179
12.2.9 sigaction 函数 .....	179
12.2.10 sigsetjmp 和 siglongjmp 函数 .....	180
12.2.11 sigsuspend 函数 .....	180
12.2.12 abort 函数 .....	181
12.2.13 system 函数 .....	181
12.2.14 sleep 函数 .....	182

12.3	例子：使用 SIGIO 的 UDP 回射服务器程序 .....	183
12.4	本章小结 .....	188
12.5	实战检验 .....	188
	理论巩固 .....	188
	上机实战 .....	188
<b>第 13 章</b>	<b>原始套接口与数据链路访问编程 .....</b>	<b>189</b>
13.1	原始套接口创建 .....	189
13.2	原始套接口输出 .....	190
13.3	原始套接口输入 .....	191
13.4	原始套接口编程实例 .....	191
	13.4.1 实例 1：拒绝服务攻击 .....	191
	13.4.2 实例 2：ICMP 包的构建、发送和接收 .....	194
	13.4.3 实例 3：ping 程序 .....	197
13.5	数据链路层访问 .....	202
	13.5.1 BPF：BSD 分组过滤器 .....	203
	13.5.2 数据链路提供者 DLPI .....	203
	13.5.3 Linux 的 SOCK_PACKET .....	204
	13.5.4 分组捕获函数库 libpcap .....	204
	13.5.5 libpcap 的库函数 .....	205
	13.5.6 数据链路层访问实例 .....	209
13.6	本章小结 .....	213
13.7	理论与巩固 .....	214
	实战检验 .....	214
	上机实战 .....	214
<b>第 14 章</b>	<b>实验指导 .....</b>	<b>215</b>
14.1	Socket 基本编程 .....	215
14.2	服务器与单客户的连接处理 .....	218
14.3	多进程服务器模板 .....	221
14.4	多线程编写模板 .....	226
14.5	线程专用数据 TSD 实现模板 .....	230
<b>参考文献</b>	.....	<b>236</b>

# 第 1 章 TCP/IP 简介

知识点：

- ◇ OSI 模型和 TCP/IP 模型的组成
- ◇ TCP 和 IP 报文的格式
- ◇ 建立、释放 TCP 连接的原理
- ◇ TCP 建立和关闭连接时状态的转换

本章导读：

TCP/IP 协议是网络编程的基础。本章主要介绍 TCP/IP 模型的构成，IP 数据报、TCP 报文的格式，如何建立和释放 TCP 连接。在 TCP 建立和释放连接的过程中，TCP 的状态是随时变化的，状态变化的过程可以用状态转换图表示。

## 1.1 概述

### 1.1.1 基本的 C/S 服务模型

网络编程是指编写的网络通信程序可以与网络上的其他程序进行通信。相互通信的网络程序通常可以分为两部分：客户端（Client）和服务器端（Server）。在图 1-1 中给出了一个最简单的 C/S 服务模型。

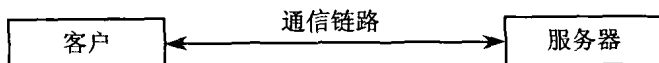


图 1-1 客户和服务

在此模型中，客户和服务器之间采用的是一对一的关系，即客户一次只与一个服务器通信。当然一个客户同时与多个服务器进行通信，一个服务器同时与多个客户通信的情况也存在。以最常用到的使用 Web 浏览器浏览网页为例，IE 浏览器在这里就是客户端，而远程提供信息的服务器就是服务器端，可以在 5 分钟内与许多不同的 Web 服务器通信；反之从服务器的角度来看，一台 Web 服务器也可以同时处理多个客户的请求。

对刚开始学习网络编程的读者来说，当第一次看到对 C/S 服务模型的介绍时，可能对它的理解就只是图 1-1 所描述的逻辑关系（一端享受服务，一端提供服务）而已，而并不是非常清楚用户数据和服务器的数据是怎么完成相互传递的。如图 1-2 所示，以 Web 服务为例对数据传送的过程做一个简单的介绍。

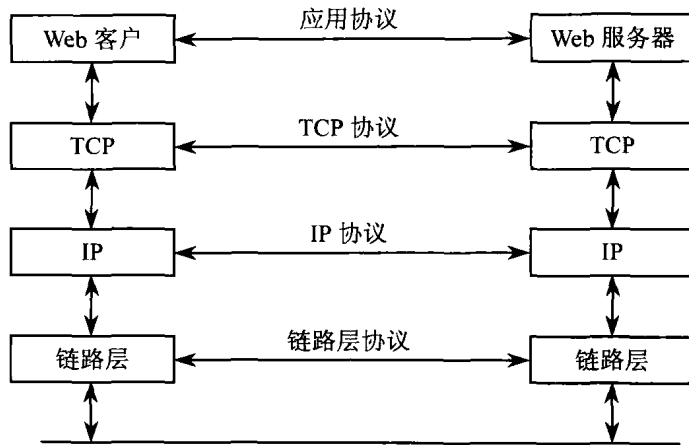


图 1-2 Web 服务器端和客户端之间的数据传送过程

首先，客户端的数据由应用层的客户端软件产生，这些产生的数据到达客户端系统的内核协议栈，并从上到下地经过协议栈的每一层，协议栈中的各层都要对到达的数据进行封装，数据经过一层一层处理后组合成帧；最后组合好的帧被传给底层的网络设备，由网络设备实现物理层的数据传送。

当数据到达目的服务器时，服务器把由底层网络设备传上来的数据送到协议栈，数据由下到上地经过协议栈的各层，各层负责对数据进行一层一层的拆封，最后还原为客户端发送的初始数据，让服务器程序对客户端的数据做出回应，而服务器回应的数据也是通过类似的传送过程到达客户端。

### 1.1.2 OSI 模型和 TCP/IP 四层结构

在计算机网络发展的早期，为了使不同体系结构的计算机网络都能互连，国际标准化组织 ISO 于 1977 年成立了专门机构研究该问题，并提出一个使各种计算机在世界范围内互联成网的标准框架，即著名的开放系统互连参考模型 OSI/RM (Open Systems Interconnection Reference Model)，简称 OSI。OSI 参考模型中采用了七个层次的体系结构，这七个层次从上到下依次是应用层、表示层、会话层、运输层、网络层、数据链路层和物理层。但是由于 OSI 的七层体系结构既复杂又不实用，所以得到最广泛应用的不是国际标准 OSI，而是非国际标准的 TCP/IP。如图 1-3 所示，同时给出了 OSI 模型和 TCP/IP 模型。

TCP/IP 模型中将 OSI 模型中最下两层合并为一层，称为网络接口层，它是随系统提供的设备驱动程序和网络硬件。除了需要知道数据链路的某些特性如 1500 字节的以太网外，用户不需要关心这两层；网际层负责相邻互联网上的不同主机之间的通信，主要包括 IPv4、ICMP、RIP、IGMP 等协议；传输层负责主机中两个进程之间的通信，主要包括 TCP、UDP 两种协议；TCP/IP 模型将 OSI 模型的上三层合并成一层即应用层，应用层直接为用户的应用进程提供服务，应用层是 Web 客户（浏览器）、Telnet 客户、FTP 服务器等其他应用进程所在的层。随后将学到的套接字编程就是应用层到传输层的接口，如图 1-4 所示。

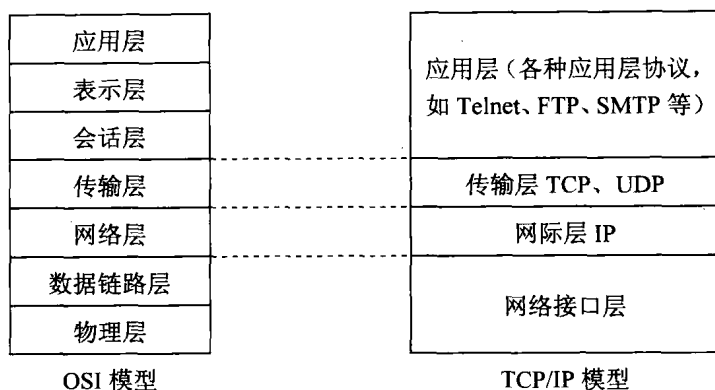


图 1-3 OSI 模型和 TCP/IP 模型

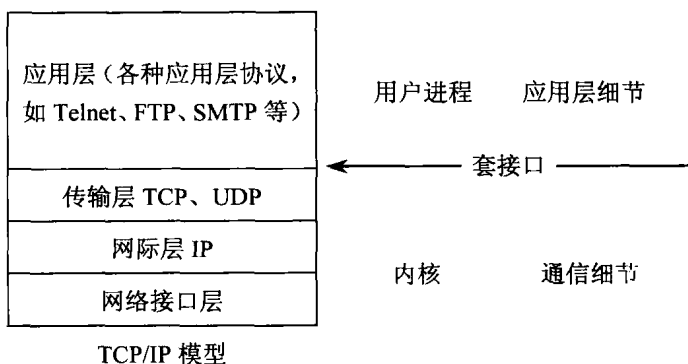


图 1-4 网络编程套接口

由于应用层处理应用程序，如 FTP、Telnet 或 HTTP 的细节，但不了解通信细节，下三层处理所有的通信细节，如发送数据、等待、确认，给无序到达的数据排序等，但不了解应用程序；而且应用层通常形成用户进程，下三层通常作为操作系统内核的一部分，所以 Linux 与其他现代操作系统都提供分隔用户进程与内核的机制，因此应用层和传输层之间的接口自然成了应用程序编程接口，也就是常说的 API。

## 1.2 IP 协议介绍

### 1.2.1 IP 数据报的格式

网际层 IP (Internet Protocol) 协议是 TCP/IP 体系中的核心协议，它提供无连接的传输服务，不能保证数据报的可靠传输。IP 数据报的完整格式如图 1-5 所示。

版本 (4 位)：包含了创建该数据报的 IP 协议的版本信息，如果版本是 4，对应 IPv4。

首部长度 (4 位)：除了 IP 选型及相应的填充字段以外，首部所有字段的长度都是固定的。当 IP 的首部长度不是 4 字节的整数倍时，必须利用最后一个填充字段加以填充。当首部不含选项和填充时，长度为 20 字节。



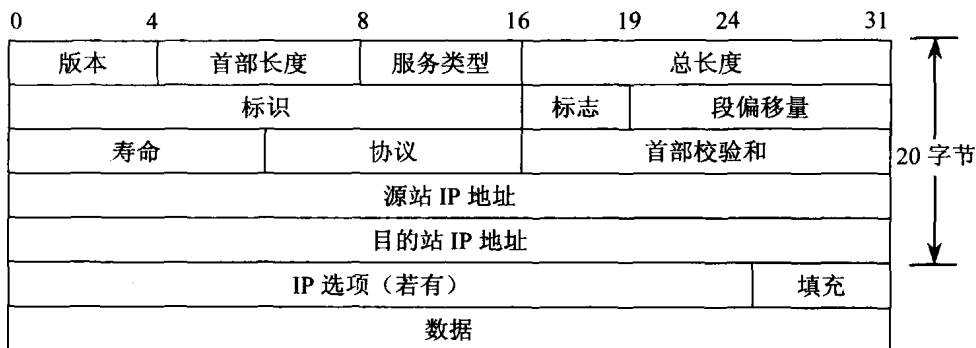


图 1-5 IP 数据报的格式

**总长度 (16 位):** 总长度是首部和数据之和的长度。数据区的长度可以从总长度中减去首部长度求得。因受 16 位限制, 数据报文最长为  $65536 (2^{16})$  字节, 实际上使用的数据报长度很少有超过 1500 字节的, 通常被限制在 576 字节内。

**标识 (16 位)、标志 (3 位)、段偏移量 (13 位)** 这 3 个字段用于控制 IP 数据报的分片和重组。标志字段中的最低位为 MF (More Fragment)。“MF = 1”表示后面还有分片; “MF = 0”表示该分片是数据报片中的最后一个分片。标志字段中的中间位为 DF (Don't Fragment), 只有当 DF = 0 时才允许对数据报分片。

**寿命 (8 位):** TTL (Time to Live) 又称生存时间, 该字段设置了该数据报文在互联网系统中允许存在的时间, 以秒为单位。

**协议 (8 位):** 指出此数据报携带的运输层数据使用的是何种协议。TCP 的保留值为 6, UDP 的保留值为 17, ICMP 的保留值为 1。

**首部校验和 (16 位):** 用于保证首部数据的完整性, 确保报头在传输过程中不被改变。发现校验和出错时, 对数据报文不作任何处理, 立即丢弃。

**源站 IP 地址 (32 位)、目的站 IP 地址 (32 位):** 包含了数据报文的 (最初) 发送方和 (最终) 接收方的 IP 地址。数据报文可能经过许多中间路由器, 但这两个字段始终不变, 它们指定了源站和目的站的 IP 地址。

**数据字段**说明了数据报文的数据区的开始。IP 选项字段的长度是可变的。填充字段取决于所选的项。

**服务类型 (8 位):** 用来获得更好的服务, 其中前 3 个比特表示优先级, 第 4 个比特表示要求有更低的时延, 第 5 个比特表示有更高的吞吐量, 第 6 个比特要求有更高的可靠性, 第 7 个比特表示选择费用更廉价的路由, 最后一个比特目前尚未使用。

## 1.2.2 IP 地址

IP 地址就是给每个连接在 Internet 上的主机分配一个全世界范围内唯一的 32 位的标识符, 它标志着网络中一个主机的位置。由于网络结构的差异很大, 有的网络上拥有很多主机, 有的网络上的主机又很少, 因此将 Internet 的 IP 地址分为 5 类, 即 A 类到 E 类, 常用的 A、B、C 三类 IP 地址都是由网络号和主机号两个部分组成, 如图 1-6 所示。