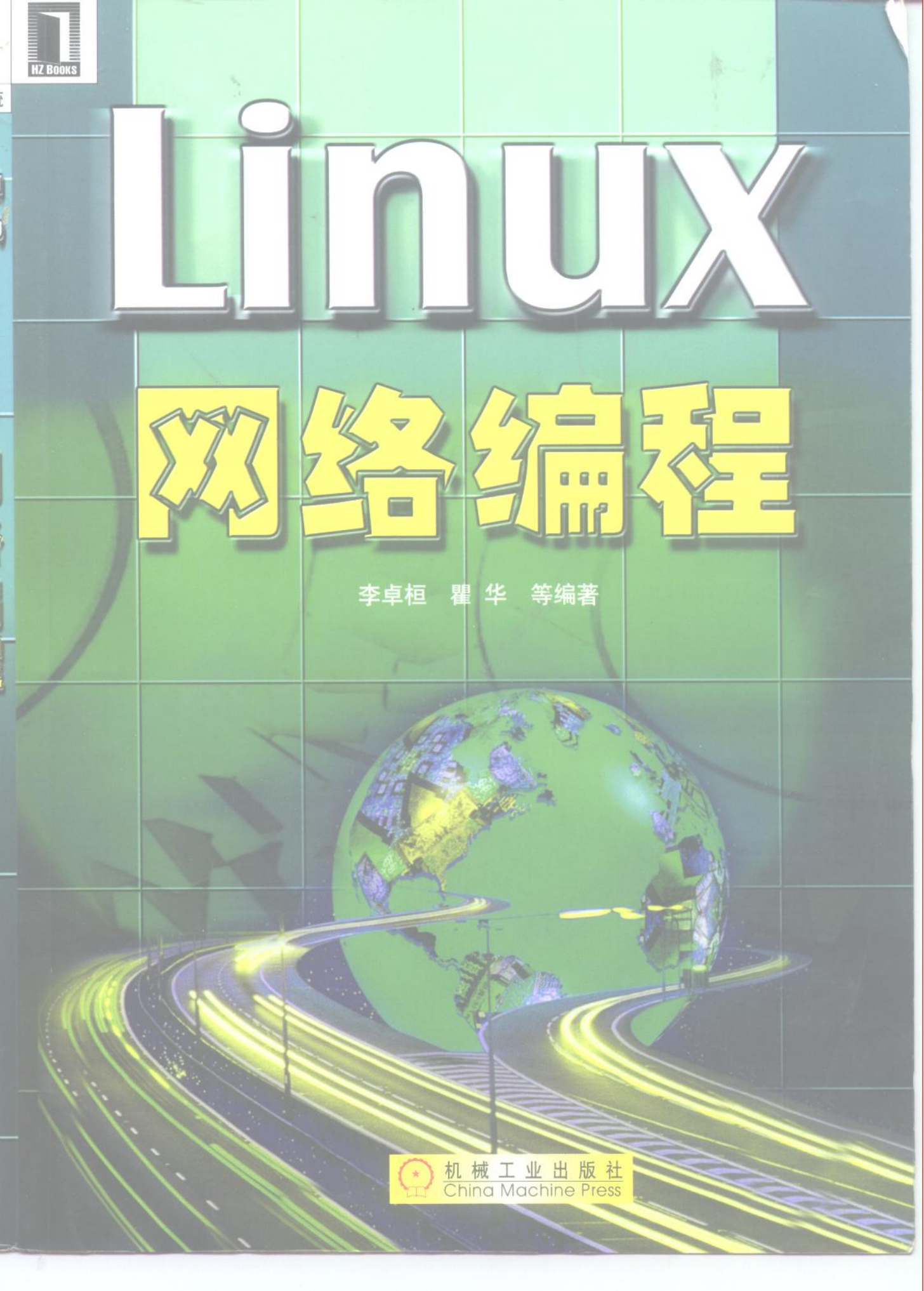
HZ BOOKS

Linux 网络编程

李卓桓　瞿 华　等编著



机械工业出版社
China Machine Press

Linux 网络编程

李卓桓　瞿华　等编著
紫寒云工作室　审

2000. 5. 12

机械工业出版社
China Machine Press

本书详尽而细致地介绍了在 Linux 操作系统下进行网络编程所需要的各种知识，从基本的进程控制、通信到 Berkeley 套接字都有讲解。书中还穿插了大量的实例程序，并配以说明，更加方便读者的学习和理解。本书内容的精心安排，简洁的措辞，丰富的实例可以使初学者迅速地掌握 Linux 网络编程的技术。同时，Linux 的高级程序员也可以从中得到一些启示，从而最大限度地发挥 Linux 程序的潜能。

本书适用于各种 Linux 网络程序的开发维护人员。

图书在版编目（CIP）数据

Linux 网络编程/李卓桓等编著 .—北京：机械工业出版社，2000.1
ISBN 7-111-07677-X

Ⅰ.L… Ⅱ.李… Ⅲ.计算机网络-操作系统，Linux-程序设计
Ⅳ.TP316.89

中国版本图书馆 CIP 数据核字（1999）第 55302 号

机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码100037）
责任编辑：瞿静华
北京市密云县印刷厂印刷 · 新华书店北京发行所发行
2000年1月第1版 · 2000年3月第2次印刷
787mm × 1092mm 1/16 · 23.5印张
印数：5 001- 8 000册
定价：38.00 元

前　言

随着我国经济和科学技术的迅速发展，计算机在各个领域的应用得到迅速推广，计算机以其快捷、灵活、高度智能化的工作能力完成着许多较复杂的任务。

电脑是迈向21世纪必不可少的工具，为此，许多朋友已经悄然开始学习电脑。在当今的世界中，计算机的操作系统主要有Windows和Linux，windows以其方便而简单的模式占据了当今电脑界操作系统的主流。与此同时，Linux以其自由共享方面的优势和源代码的公开性吸引着越来越多的用户，这一优点是微软所不能比拟的。

Linux的源代码是公开的，这使我们能很方便地运用Linux改造我们的操作系统，使之能更方便地为我们服务。这一点，是微软永远达不到的。因为，在这种商业竞争的氛围中，已经很少有什么企业或者机构能够完全无偿地将自己的东西贡献出来了。而且微软越来越频繁的系统更新让我们感觉有点无所适从，Linux系统正好是从这样一个方面占据了很大一部分市场。

Linux的操作虽然比较繁杂，但是，Linux系统强大的系统功能和网络功能是微软所无法比拟的，离开Windows的束缚，开始自己的工作，用自己的智慧解决所遇到的问题，编写自己的操作系统，然后用这样的系统来为自己服务，这是多么令人振奋的一件事？何乐而不为？而且在熟悉Linux系统的操作之后，所有上面的一切都显得简单啦，这是Windows系统所不能做到的。

本书难度深浅适中，相信利用本书可以让你在使用Linux的时候游刃有余。如果想了解和使用一些深层次的或者当代计算机应用的前沿技术，也可以从本书中得到启示，获得进一步的提高。

本书由紫寒云工作室策划。参加本书编写及制作的有李卓桓、瞿华、彭剑锋、任宇鹏、林依云、叶青、胡中亮、王宇、杨恩乐、刘劲枫、涂晓鸣、许勇、李帆、陈军、刘义、王英、曹艳平、余海江、孙明、武谕芳、周立等人。由于时间仓促，错误和疏漏之处在所难免，敬请读者批评、指正。

目　录

第1章 概 论

1.1 网络的历史

所谓计算机网络就是通过通信线路互相连接的计算机的集合。它是由计算机及外围设备、数据通信和中断等设备构成的一个群体。目前，计算机网络大部分都是多台计算机之间互连、通信，达到资源共享目的的网络系统，它是电子计算机及其应用技术与通信技术日益发展且两者密切结合的产物。

计算机的通信通常有两种方式：

1）通过双绞线、同轴电缆、电话线或光缆等有形传输介质而互相实现通信。

2）通过激光、微波、地球卫星等无形介质实现无线通信。

后者是今后发展的主要方向，因为 90 年代以后，出现了各种各样的微型电脑（笔记本电脑），无线网络在以后一定会进一步发展。

计算机网络的研制开始于 60 年代中期，至今已有 20 多年的历史。网络技术发展及应用已经十分普及，并渗透到了各个领域，正在日益显示着它给信息化社会所带来的影响和深远意义。

在网络发展上，最早出现的是分布在大范围内的广域网络（Wide Area Network，WAN），例如美国国防部高级研究计划局首先研制的 ARPA 网，它从 1969 年建立，至今已经发展成为跨越几大洲的巨型网络。

70 年代中期由于微型计算机和微处理器的出现，以及短程通信技术的迅猛发展，两者相辅相成，从而促进了以微机为基础的各种局域网络（Local Area Network，LAN）的飞快发展，1975 年美国 Xerox 公司首先推出了 Ethernet，与此同时英国剑桥大学研制成剑桥环网，它们是 LAN 的代表。

LAN 与 WAN 有所区别，其特点为：

- 有限的地理范围，通常网内的计算机限于一栋大楼、一个楼群或一个企业及单位。
- 较高的通信速率，大多在 1～100M bps，而 WAN 大多在每秒几十千位。
- 多样的通信介质。
- 通常为一个部门所拥有。

特别是 80 年代以来，以微机为基础，LAN 技术有了极其迅速的发展。

90 年代计算机网络化大趋势尤为明显。据统计 1978 年全世界每天约有 700 万人使用计算机，而到 1998 年上升到 5000 万人，目前全世界已经拥有超过一亿台的计算机，预计每天上机人数可达 2 亿以上。计算机的性能价格比以每年 25% 的速度在提高。微机的应用已经渗透到国民经济的各个部门，乃至家庭和个人。这标志着我们正步入信息时代，世界范围内的社会信息数据正在以每年 40%～45% 的年增长率在增加，这就是迫切需要实现网络化的动力源泉。据称，约有 65% 的计算机要联网或已经联网，以求彼此通信，达到资源共享的目的。

90 年代计算机网络化继续向深度和广度方向发展。人们要求网络传输的内容范围增加，诸如数据之外，还需传输声音、图形、图像和文字，这就是以网络为基础的多媒体技术，使

网络的应用广度更加扩大，并最终为信息化社会的实现所必须的网络连接奠定基础。

当前国际 LAN 的市场上，两雄称霸、龙争虎斗的局面，将可能持续相当长一段时间。

正如大家知道的那样，80 年代后期美国 Novell 公司先是以“一枝独秀，压倒群芳”之势占据了 60％以上的国际 LAN 市场，一路领先，扶摇直上，尤其是 NetWare 386 V3.11 版推出后，更受到普遍的注目；随后，国际上软件公司的龙头老大——Microsoft 公司又先后推出了 LANManager V1.0（即 LAN 3＋ Open）、LANManager V2.0 和 V2.1，后来居上，成为了世界 LAN 的又一大支柱。1992 年 10 月 Microsoft 又抢先发布了 LANManager V2.2，以更加领先于 Novell 的 NetWare 386 V3.11，但后者立即随后推出了 NetWare 4.0。可见“龙争虎斗”、瓜分市场的情景是多么激烈。

Novell LAN 采取了“将网络协议软件与网络操作系统 NetWare 紧密结合起来”的设计构想，可达到节省开销，提高运行效率之目标。Novell LAN 最大的特点是与其底层的网卡的无关性，即是说 NetWare 可以虚拟地在所有流行的 LAN 上运行，使它成为一个理想的开发网络应用软件的平台，吸引软件人员为之开发越来越多的网络应用软件，反过来又推动了它的发展。同时 Novell LAN 采取了开放协议技术（OPT），允许各种网络协议紧密结合，进而在 NetWare 386 V3.11 版中采用了 NLM 模块的组合技术，可以实现异机种联网的难题。此外，Novell LAN 不需专用服务器，占用工作站内存最小、使用方便、功能强、效率高、兼容性强、可靠性高、保密性强、容错性好。尤其在 NetWare 386 V3.11 版中实现了服务器软件的“分布式结构策略”、“横向信息共享”、“报文传送”技术、增添了“TCP/IP 栈”、实现了“SNA 协议”和“开放式数据链路接口”等一系列新技术，使 Novell LAN 更深入人心，扩大了市场。

与此同时，Microsoft 公司的 LANManager V2.1 和 V2.2 版除了具备 Novel LAN 一些通常的优点之外，还采用了“客户/服务器”（Client/Server）的先进内网络体系结构，以及基于多用户、多任务并发操作系统 OS/2 作为服务器的强大功能，并以 OS/2、UNIX、VMS 和 Windows NT 作为开发平台，更便于异类机种联网和异网互连。由于 LANManager 与 Windows 紧密结合，使它有更好的性能价格比。

在网络化技术迅速发展的今天，使用性强的 TCP/IP 协议立下了汗马功劳。起先，TCP/IP（Transmission Control Protocol/Internet Protocol）是美国国防部于 70 年代提出的重大决策之一，将网络（当时主要是中大型机连成的网络）互连起来，并按 TCP/IP 协议实现异网之间“数据通信和资源共享”，接着美国国防部高级计划局（DARPA）于 70 年代末提出了一系列的国际互连（Internet）技术，使得在科学研究、军事和社会生活迫切需要的大范围实现资源共享和交换信息得以实现。

TCP/IP 协议的基本思想是通过网关（Gateway）将各种不同的网络连接起来，在各个网络的低层协议之上构造一个虚拟的大网，使用户与其他网的通信就像与本网的主机通信一样方便。

国际标准化组织（ISO）对网络标准提出了 OSI/RM（开放系统互连七层协议的参考模型），这七层自低向高分别为物理层、数据链路层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。而自此之前，DARPA 提出的 TCP/IP 仅仅提供了高四层标准，对低三层没有定义，因此 TCP/IP 在设计时必须要解决与低层的接口问题。

1.2 OSI 模型

OSI 模型是国际标准化组织（International Standards Organizations，ISO）定义的，为了

使网络的各个层次有标准。这个模型一般被称为“ISO OSI（Open System Interconnection）Reference Model”。虽然迄今为止没有哪种网络结构是完全按照这种模型来实现的，但它是一个得到公认的网络体系结构模型。

OSI 模型拥有 7 个层次：

1）物理层（Physical） 它在物理线路上传输 bit 信息，处理与物理介质有关的机械的、电气的、功能的和规程的特性。它是硬件连接的接口。

2）数据链路层（Data Link） 它负责实现通信信道的无差错传输，提供数据成帧、差错控制、流量控制和链路控制等功能。

3）网络层（NetWork） 负责将数据正确迅速地从源点主机传送到目的点主机，其功能主要有寻址以及与相关的流量控制和拥塞控制等。

物理层、数据链路层和网络层构成了通信子网层。通信子网层与硬件的关系密切，它为网络的上层（资源子网）提供通信服务。

4）传输层（Transport） 为上层处理过程掩盖下层结构的细节，保证把会话层的信息有效地传到另一方的会话层。

5）会话层（Session） 它提供服务请求者和提供者之间的通信，用以实现两端主机之间的会话管理，传输同步和活动管理等。

6）表示层（Presentation） 它的主要功能是实现信息转换，包括信息压缩、加密、代码转换及上述操作的逆操作等。

7）应用层（Application） 它为用户提供常用的应用，如电子邮件、文件传输、Web 浏览等等。

需要注意的是 OSI 模型并不是一个网络结构，因为它并没有定义每个层所拥有的具体的服务和协议，它只是告诉我们每一个层应该做什么工作。但是，ISO 为所有的层次提供了标准，每个标准都有其自己的内部标准定义。

下面我们来看看 OSI 模型的层次图（见图 1-1）：

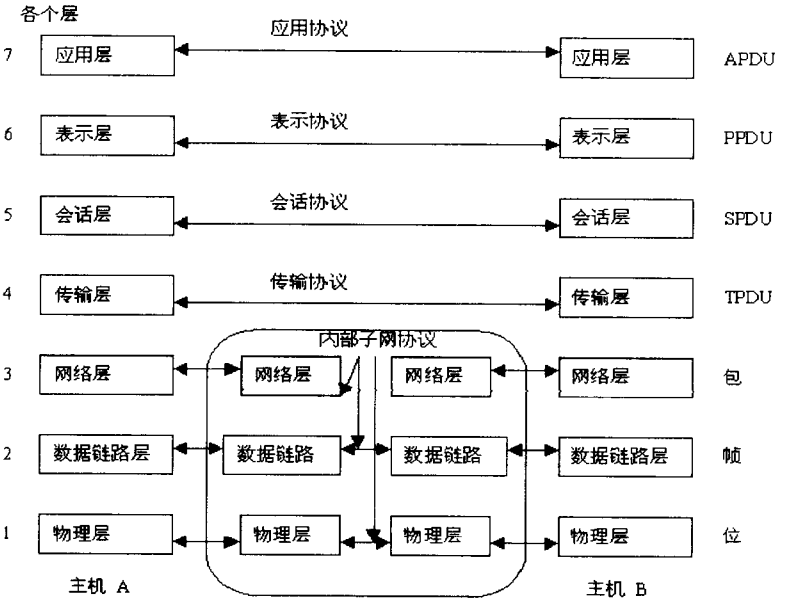


图 1-1 OSI 模型的层次图

1.3 Internet 体系模型

Internet 网是由许多子网通过网关互连组成的一个网络集合。网关是一个执行网络间转发功能的系统，被网关连接的子网有一个共同特点，它们都使用 TCP/IP 通信协议。Internet 是建立在 TCP/IP 基础上的，因此采用了 TCP/IP 的网络体系结构。TCP/IP 的网络体系结构如表 1-1 所示。

表 1-1 TCP/IP 的网络体系结构

<table>
<tr><td>SMTP</td><td>DNS</td><td>HTTP</td><td>FTP</td><td>TELNET</td></tr>
<tr><td colspan="2">TCP</td><td colspan="2">UDP</td><td>NVP</td></tr>
<tr><td colspan="5">ICMP</td></tr>
<tr><td colspan="3">IP</td><td>ARP</td><td>RARP</td></tr>
<tr><td colspan="2">以太网</td><td colspan="2">PDN</td><td>其他</td></tr>
<tr><td colspan="2">电话线</td><td colspan="2">同轴电缆</td><td>光缆</td></tr>
</table>

在 TCP/IP 网络体系结构中，第一层和第二层是 TCP/IP 的基础，其中 PDN 为公共数据网。第三层是网络层，它包含四个协议：IP、ICMP、ARP 和反向 ARP。第四层是传输层，在网络上的计算机间建立端到端的连接和服务，它包含 TCP、UDP 和 NVP 等协议。最高层包含了 FTP、TELNET、SMTP、DNS、HTTP 等协议。

网络层的主要功能由互连网协议（IP）提供，它提供端到端的分组分发，表示网络号及主机结点的地址、数据分块和重组；并为相互独立的局域网建立互连网络的服务。

要想网络连入到 Internet，必须获得全世界统一的 IP 地址。IP 地址为 32 位，由 4 个十进制数组成，每个数值的范围为 0～255，中间用“.”隔开。每个 IP 地址定义网络 ID 和网络工作站 ID。网络 ID 标识在同一物理网络中的系统；网络工作站 ID 标识网络上的工作站、服务器或路由选择器，每个网络工作站地址对网络 ID 必须唯一。Internet IP 地址有三种基本类型：

- A 类地址　其 W 的高端位为 0，允许有 126 个 A 类地址，分配给拥有大量主机的网络。
- B 类地址　由 W.X 表示网络 ID，其高端前二位为二进制的 10，它用于分配中等规模的网络，可有 16384 个 B 类地址。
- C 类地址　其高端前三位为二进制 110，允许大约 200 万个 C 类地址，每个网络只有 254 个主机，用于小型的局域网。

其格式表示如表 1-2：

表 1-2 IP 网络地址的格式

类　型	IP 地 址	网 络 地 址	主 机 ID
A	W.X.Y.Z	W	X.Y.Z
B	W.X.Y.Z	W.X	Y.Z
C	W.X.Y.Z	W.X.Y	Z

1.4 客户/服务器模型

主机结构的计算机系统是企业最早采用的计算机系统，它运行 UNIX 操作系统或其他多用户的操作系统。在多用户操作系统的支持下，各个用户通过终端设备来访问计算机系统，资源共享、数据的安全保密、通信等等全部由计算机提供。系统的管理任务仅仅局限在单一的计算机平台上，管理与维护比较简单。

但是，主机系统的灵活性比较差，系统的更新换代需要功能更加强大的计算机设备。主机系统的可用性也较差，如果没有采用特殊的容错设施，主机一旦出现故障，就会引起整个系统的瘫痪。

客户/服务器的体系结构如图 1-2 所示。

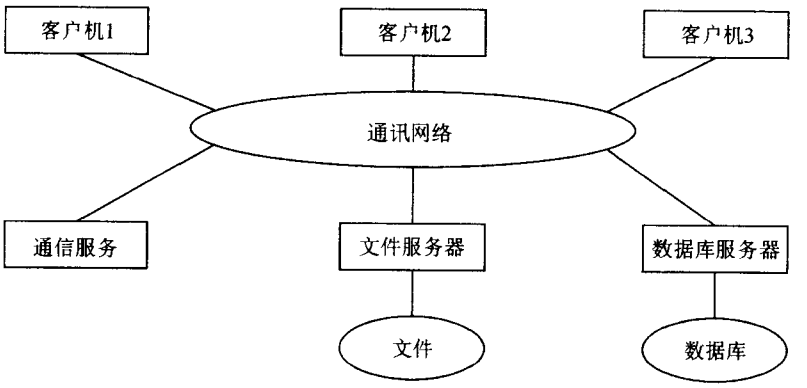


图 1-2 客户/服务器的体系结构

在客户/服务器体系结构中至少有两台以上的计算机，这些计算机由网络连接在一起，实现资源与数据共享。计算机之间通过传输介质连接起来，在它们之间形成通路。计算机之间必须按照协议互相通信，协议（Protocol）是一组使计算机互相了解的规则与标准，是计算机通信语言。网络中的设备只有按照规定的协议来通信，而让执行不同协议的计算机互相通信是一件复杂的事情。所以国际标准组织指定了开放系统互连（OSI）协议，描述了计算机网络各结点之间的数据传送所需求的服务框架，称为计算机网络协议参考模型。许多计算机网络厂家都以自己的技术支持某种协议，以此来开发计算机的网络产品。

网络计算环境中的资源可以为各个节点上的计算机共享，从服务的观点上来看，网络中的计算机可扮演不同的角色：有的计算机只是执行“服务请求”任务，是一个客户机的角色，有的计算机用于完成指定的“服务功能”，是服务的提供者，充当服务器的角色。

在网络化的计算机环境中，为计算机提供网络服务与网络管理是网络操作系统（NOS）的基本功能。网络操作系统协调资源共享，对服务请求执行管理。最通用的网络服务是文件服务、打印服务、信息服务、应用服务与数据库服务等。

• 文件服务 文件服务可以有效地存储、恢复与移动数据文件，它要执行数据的读、写、访问控制以及数据的管理操作。文件服务可以帮助用户很快地将数据文件由一个地方转移到另外一个地方。网络的文件服务可实现计算机之间的文件传送、文件转储、文件更新以

及文件归档等。

• 打印服务 打印服务用于控制与管理网络打印机与传真设备的网络服务，实现打印机硬件资源共享。

• 信息服务 信息服务可动态地处理网络各个节点的计算机用户之间，以及应用程序之间的通信，网络的信息服务为计算机网络目标之间提供了通信工具，并对分散的目标进行管理与操作。信息服务可以实现工作组的应用，进行工作流程管理，决定工作流程路径，转移策略，处理分布的商业事物等。信息服务可在用户之间传递信息与文件资料，还可建立集成电子邮件系统等。

• 应用服务 网络应用服务用于协调网络间的硬件和软件资源，建立一个最合适的平台来运行应用软件。

• 数据库服务 网络的数据库服务提供了共享数据的存储、查询、管理和恢复等多方面的服务。在数据服务中，客户机的任务是接受用户的服务请求，并将这些请求按一定格式发送到服务器，客户机还对服务器返回的响应数据进行处理，并按规定形式呈现给用户。数据库服务器用来分析用户请求，实施对数据库的访问与控制，并将处理结果返回给客户端。此时网络上传输的只是请求与少量的查询结果，其网络通信负担比基于文件系统的 LAN 网少得多。

在 1985 年后形成的客户/服务器计算模式，一般是针对一个企业的全部活动、按照企业的业务模型由系统分析员建立整个企业的信息系统框架，再设计基于客户端/服务器模型的。再设计系统结构时，首先要考虑以下几点：

• 需要多少资源并将他们设计为服务器。

• 有多少客户站点，他们要完成什么子任务。

• 明确每个子业务和其他业务有什么关系，需要传递什么信息。

子业务由各站点开发的客户应用程序实现，程序开发的着眼点是如何实现本系统的子任务。客户端程序通常由应用程序员利用常规的开发工具来完成。

服务器站点只开发服务器程序，该应用程序主要考虑如何发挥本站点资源的功能，如何提供更方便的服务。这些程序一般由软硬件制造商提供开发工具并带有大量实用程序，尽量减少应用时的开发。

关于客户/服务器系统开发变化如表 1-3：

表 1-3 客户/服务器系统开发变化

	目前的 C/S 系统	下一步的 C/S 系统	将来的 C/S 系统
客户机	主要用 CASE 工具和程序设计语言开发	主要用软部件开发	主要用软部件开发
服务器	主要用程序设计语言开发	主要用程序设计语言开发	主要用软部件或构架开发（基于分布）

1.5 UNIX 的历史

1.5.1 UNIX 诞生前的故事

我们先谈谈早期的 UNIX，有两点需要牢牢把握：

1）虽然UNIX的许多部分和其实现过程是创造性的，但其几个重要的思想都可以追溯到早期操作系统的发展。

2）如果不是Ken Thompson，如果不是他心灵手巧，擅长摆弄当时那些身边触手可及的工具，UNIX是不可能被写出来的。那是1968年，Ken Thompson和同在贝尔实验室计算机研究小组的同事们一起进行关于MULTICS项目的研究工作。MULTICS是一个误入歧途而又辉煌灿烂的计算系统。它提供了非常复杂的功能，同时消耗大量的计算资源。它太大而且太慢，研究人员们不得不在一开始就缩减其初始设置，进行简化实现。尽管如此，几个可工作的MULTICS实现还是完成了，提供了非常好的计算环境。在贝尔实验室的那个是在一台模拟GE635的GE645上完成的。系统提供分时服务，但它主要是面向批处理的，其环境笨拙且不友好。Ken和他的伙伴们（特别是Dennis Ritchie和Joseph Ossanna）不想放弃MULTICS提供的舒适环境，于是他们开始向AT&T的管理部门游说，希望能获得一个交互式平台，诸如DEC-10，并在其上建造他们自己的操作系统。DEC-10是DEC公司（Digtal Equipment Corp.）推出的一系列机种之一。该机有一个非常灵活的交互式分时系统。很不幸，与那个时代的许多分时平台一样，DEC-10非常昂贵。

应该庆幸，Ken的请求被拒绝了。这样的情形又发生了几次，这对Ken来说是太不幸了。由于MULTICS的失败，AT&T管理当局被Ken的计划打动，他们也没有兴趣来投资另一个仅仅是在不同的硬件上设计一个看起来与MULTICS一样的操作系统。

与此同时，Ken对一个成为星际旅行的游戏非常有兴趣。该程序模拟太阳系的几个主要的星体和一艘可在不同地方着陆的飞船。Ken将其安装在GE系统上，GE系统忽快忽慢的响应时间使Ken大为失望。而且根据后来Dennis的说法，在GE系统上运行一次该游戏需要75美元，太贵了。Ken和Dennis后来找到了现在非常有名的little-used PDP-7 sitting in a corner，他们用GE系统生成了可在该机器运行的程序代码。

1.5.2 UNIX的诞生

有了星际旅行，Ken有了正当的理由去实现他曾在MULTICS计划中设计和模拟的理论上的文件系统。很自然，一台有用的机器需要的不仅仅是一个文件系统。Ken和他的朋友还完成了第一个命令解释器（Shell）和一些简单的文件处理工具。开始时，他们用GE系统来为PDP-7进行交叉编译。很快，他们写好了汇编器（assembler），系统已经开始自支持了。这时的系统已经有点像UNIX了（如用fork（）来支持多任务）。文件系统与现在的文件系统有些相似。它使用i-结点，而且有特殊的文件类型来支持目录和设备。那台PDP-7可同时支持两个用户。

MULTICS代表复合型信息计算系统（MULTiplexed Information and Computing System）。1970年，Brian Kernighan开玩笑称Ken的系统为UNICS，它代表单一信息计算系统（Uniplexed Information and Computing System），毕竟与Ken的系统相比，MULTICS过于庞大了（某些人称MULTICS代表Many Unnecessarily Large Tables In Core Simultaneously存在大量无用代码的内核，而UNIX则是裁剪了的MULTICS）。不久，UNICS变成了UNIX并且被流传下来。

计算机研究小组对PDP-7并不十分满意。其一是它是借来的一台机器，更主要的是它能力有限，不太可能提供计算服务。于是小组再次提交申请，这回是一台PDP-11/20来研

究文字处理。该申请与前一次的显著区别是 PDP-10 的价格只是 DEC-10 的九牛一毛。由于这次的申请十分具体——一个文字处理系统，AT&T 的管理当局宽宏大量地为他们购买了 PDP-11。1970 年 UNIX 被移植到 PDP-11/20 上。那可不是一件轻而易举的事，整个系统全是用汇编语言编写的，小组又将汇编写的 roff（又称为 runoff，troff 的前身）从 PDP-7 移植到 PDP-11 上。再加上一个编辑器就足以称为一个文字处理系统了。与此同时，贝尔实验室的专利局正在寻找一个文字处理系统。他们选择了计算机研究小组的基于 UNIX 系统的 PDP-11/20。贝尔实验室专利局成了 UNIX 的首家商业用户。这第一个系统有几点是很值得注意的。运行 UNIX 的 PDP-11/20 没有存储保护。它仅有一个 0.5MB 的磁盘，同时支持三个用户，分别完成编辑和排版。该系统的手册被定为第 1 版，日期为 1971 年 11 月。

第 2 版于 1972 年发行，增添了管道的功能。该版本还加上了除汇编之外的编程语言支持。特别值得一提的是 Ken 曾试图用 NB 语言来重写核心。NB 是由 B 语言（由 Ken 和 Dennis 设计）修改而来的。B 语言的前身是 BCPL，BCPL（Basic CPL）是 Martin Richards 于 1967 年在剑桥设计的。CPL（Combined Programming Language）则是 1963 年伦敦大学和剑桥大学的合作项目。而 CPL 则颇受 Algol60（1960 设计）的设计思想影响。

所有这些语言在控制结构上都和 C 语言相似，不过 B 和 BCPL 都是“无类型”的语言（尽管有点用词不当），它们只支持按“字”来访问内存。NB 演化为 C，而 C 则很快成为新的工具和应用的首选语言。

参与 MULTICS（MULTICS 用 PL/I 书写）的经验告诉 Ken 和 Dennis，用高级语言来写系统是合算的。因此，他们一直试图完成它。1973 年，C 语言加入了结构和全局变量。与此同时，Ken 和 Dennis 成功地用 C 重写了 UNIX 核心。Shell 也被重写，这增加了系统的健壮性，也使编程和调试变得容易了很多。那时，大约有 25 个 UNIX 系统。在贝尔实验室内部成立了 UNIX 系统小组来进行内部维护工作。几家大学都和贝尔实验室签定协议，获得了第 4 版的拷贝。协议主要是不泄露源码，在那时还没有许可证这回事。Ken 自己录制磁带，不收任何费用。第一卷磁带由在纽约的哥伦比亚大学获得。

1974 年，Ken 和 Dennis 在 Communications of the ACM 上发表了论文介绍 UNIX 系统。那时，Communications 是计算机科学的主要刊物，那篇文章在学术界引起了广泛的兴趣。第 5 版正式以“仅用于教育目的”的方式向各大学提供。价格也只是名义上够磁带和手册的费用。这时的 Ken 和 Dennis 仍在积极地投入 UNIX 的研究，然而，他们继续避免提供支持的承诺。他们的小组被称为 Research（或在贝尔实验室内部称为“1127”），他们的机器被命名为 research。你可以通过 uucp 向他们发送 bug 报告，打电话询问他们，甚至进他们的办公室和他们一起讨论 UNIX 的问题。通常他们总能在其后的若干天内解决 bug。与 research 同在贝尔实验室的另一个小组被称为 PWB（Programmer's Workbench）。由 Rudd Canaday 领导的 PWB 小组支持一个用于大型软件开发的 UNIX 版本。PWB 试图向那些并不对 UNIX 研究感兴趣的用户提供服务。他们做了大量的工作来强化 UNIX 的核心，包括支持更多的用户。PWB 的两个非常有用的计划分别是 SCCS（源码控制系统）和 RJE（使用 UNIX 作为实验室其他主机的前段）。PWB 最终注册为 PWB/UNIX1.0。UNIX 替代了越来越多的 PDP-11 上的 DEC 公司的操作系统。尽管 UNIX 不被支持，但她的魅力远胜于她的问题，从而吸引了许多的用户。除了系统本身的许多优点外，源码是可以获得的，而且系统从整体上也是易于理解的。进行修改和扩充很容易，这使得 UNIX 与其同类的其他操作系统大不一样。

1975年，第6版UNIX系统发行了。这是第一个在贝尔实验室外广为流传的UNIX系统。AT&T（通过West Electric Co.）开始向商业和政府用户提供许可证。Mike Lesk发行了他的可移植C语言库。该库提供了可在任何支持C语言的机器上进行I/O的库例程。这是用C书写可移植代码的重要一步。Dennis后来重写了该库并称其为标准I/O库（即所谓stdio)。UNIX用户们首次在纽约市进行会晤，由纽约城市大学的Mel Ferentz作东，当时有40人参加。从此以后该会议每两年举行一次，会议是极不正式的。如果你想进行演讲，你就举手，并且讲就行了。这些会议是极好的交流bugs报告、修改软件的方式。每个人都带上两卷磁带参加会议，一卷是给别人的，一卷是用来录制新东西的。

1977年，Interactive Systems公司成为首家向最终用户出售UNIX的公司。UNIX终于成了产品。在同一时期有三个小组将UNIX移植到不同的机器上。Steve Johnson和Dennis Ritchie将UNIX移植到一台Interdata 8/32机器上。澳大利亚Wollongong大学的Richard Miller和同事们将UNIX移植到一台Interdata 7/31上。Tom Lyon和其在普林斯顿的助手们完成了到VM/370的移植。每次移植都干得十分漂亮。具体讲就是所有这三台机器都与PDP-11有显著的差异。事实上，这正是问题所在。许多操作系统都没有被设计为能在多种机器上运行。类似情况下，许多机器又为了某种特定的操作系统而设计。例如，如果硬件能完成进程之间的保护，操作系统利用此功能就很有意义了。

UNIX很快被移植到其他类型的PDP-11上。每个都有些很有趣的功能且不断地加大了UNIX可支持硬件的复杂度（这些功能包括浮点处理器、可写微码、内存管理和保护、分离的命令和数据空间等等)。然而，PDP-11系列很明显地都是基于16位地址空间的，所有的程序都实现于64KB的大小，很滑稽的是这倒促进了小程序的编写。有了支持合作进程的管道以及exec（）之后，可以通过它们将几个小的应用连接为一个大的应用。这是UNIX编程的一个特点，也许我们要感谢PDP-11有限的地址空间。UNIX被移植到IBM的Series1小型机上（尽管有人认为这好比是将物质与反物质结合在一起)，Series1有与PDP-11相同的字大小，但它的字节是颠倒的。因此当系统初次启动时它打印出来的是“NUXI”而不是“UNIX”。从那时起，“NUXI”问题就成了字节顺序问题的代名词。

1977年，加利福尼亚伯克利分校（the University of California，Berkeley）的计算机科学系开始发行他们的Pascal解释器。其中还包括了一些新的设备驱动程序、对核心的修改、ex编辑器和一个比V6的Shell更好用的Shell（Pascal Shell)。这就是所谓的1BSD（1st Berkeley Software Distribution)。

1.5.3 1979-UNIX 第7版

1979年发行了UNIX的第7版—— Version 7。该版本包括了一个完整的K&R C编译器，它首次包括了强制类型转换、联合和类型定义。系统还提供了一个更为复杂的Shell（称为sh或Bourne shell，取自它的作者之一，Stephen Bourne）并支持更大的文件。由于不懈的努力，核心更加强大，系统有了更多的外设驱动程序。

第7版的程序员手册已达到了大约400页（仍然可以很合适地装在一卷里)。UNIX的其他读物则成为了第二卷和第三卷，大约各有400页。

在贝尔实验室，John Reiser和Tom London将V7 UNIX移植到了VAX机上。这次移植称为UNIX32V。在某种程度上，VAX是一个大一点的PDP-11，按这样的理解移植工作相