

IPv6

详解

▶ IPv6 Clearly Explained

▶ (美) Pete Loshin 著

▶ 沙斐 程莉 周立 等译

T915.04



机械工业出版社
China Machine Press

M K MORGAN
KAUFMANN

IP网络技术丛书

IPv6详解

(美) Pete Loshin 著
沙斐 程莉 周立 译



机械工业出版社
China Machine Press

本书从介绍IPv4中问题的产生和现状入手,详细阐述了IPv6的各个方面,包括IPv6的寻址结构、扩展头、身份验证和安全性、对任意点播和组播的支持以及对相关协议的影响,同时还探讨了IPv4向IPv6过渡的策略和应用。

本书内容由浅入深、语言精练易懂,为有经验的网络管理员和研究人员适应IP升级变化提供了关于IPv6清楚而又与众不同的介绍。

Pete Loshin: IPv6 Clearly Explained.

Copyright © 1999 by Academic Press.

All rights reserved.

本书中文简体字版由美国 Morgan Kaufmann公司授权机械工业出版社独家出版。未经出版者书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

版权所有,侵权必究。

本书版权登记号: 图字: 01-1999-3678

图书在版编目(CIP)数据

IPv6详解/(美)罗什(Loshin, P.)著;沙斐,程莉,周立译. -北京:机械工业出版社, 2000. 4

(IP网络技术丛书)

书名原文: IPv6 Clearly Explained

ISBN 7-111-07970-1

I. I... II. ①罗...②沙... ③程... ④周... III. 计算机网络-传输控制协议 IV. TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第18087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: 陈 谊

北京第二外国语学院印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000年4月第1版第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·10.5印张

印数: 0 001-6 000册

定价: 23.00元

凡购本书,如有倒页、脱页、缺页,由本社发行部调换

译者序

上个世纪的最后一个月我们拿到了本书的英文版，今天我们处在新世纪的第一个月，承蒙机械工业出版社的信任，我们完成了一次跨世纪的翻译。而本书中的议题恰恰也是一个跨世纪的议题，IPv4在经历了20世纪后20年令人惊异的增长后，已经逐渐逼近自身的极限，在20世纪90年代提出的IPv6解决方案，将在21世纪中为IP的发展、整个信息技术和新业务的发展带来新的机遇和挑战。

本书中描述的主要是IPv4面临的问题、IPv6对于这些问题的解决方案以及IPv4如何向IPv6过渡等，作者用简单的语言、恰当的比喻由浅入深地介绍了IPv4中问题的产生和现状，并用准确的概念和详尽的介绍覆盖IPv6的各个方面，同时还提出了向IPv6过渡的策略与方法。特别是对IPv6的寻址结构、扩展头的用法、IPv6的选路、身份验证和安全性以及IPv6对相关协议的影响做了较为详尽的描述。我们相信作者在IP领域的丰富经验将为各个层次的工程技术人员了解IPv6提供最好的帮助，也希望这本书能够在新世纪中为我们国家Internet领域的发展献上绵薄之力。

本书的翻译工作是由北京邮电大学计算机学院三位老师完成的。其中第1至第5章及部分第6章由周立翻译，第7至第13章由程莉翻译，部分第6章、概论以及附录A、附录B由沙斐翻译。

本书涉及的知识面很广，因此翻译上有一定难度；加上时间仓促，水平有限，错译之处在所难免，希望读者给予指正。

译者

2000年1月

于北京邮电大学

前言

还记得密纹唱片吗？八道录音带呢？还有索尼Betamax录像带？上了年纪的人都知道Victrola牌唱片，也许不仅记得手摇唱机，而且记得最早爱迪生发明的用腊鼓录音的唱机。计算行业中的老前辈能列出一个长长的技术清单，其中某些曾经一度成为标准，而如今却已过时了。例如：过去的软盘直径达8英寸，而且确实很软；磁带；纸带；还有穿孔卡片(即所谓的“IBM卡片”，你别想把它折叠、卷绕或损坏)。任何经历过技术上重大升级的人都知道，这是一个困难的过程——不仅要选择正确的技术升级的路径，而且还要为过渡作好充分准备。

一个非常重要的技术升级即将来临。这将对Internet的一亿用户产生影响。虽然不少人认为Internet相对而言是一门新技术，它的基础标准和技术规范大多是70年代后期和80年代初期制定的。网际协议(IP)是TCP/IP的基础，是定义Internet(以及所有内联网和外联网)的连网协议集。随着建立在IP之上的建筑物规模的增加，地基将出现严重的裂痕，导致在很长时间内不能支持持续的增长。目前使用的IP版本(IPv4)的升级版本大部分已确定和描述，厂商和实施者也均在行动过程中。

IPv6在技术史上或许是最重大的网络升级。这使得世界上每个出售能运行TCP/IP软件、硬件或服务的公司都需要评估是升级还是修改产品，也使得地球上每台连网的计算机系统的用户或者系统管理员考虑如何最好地向下一代网际互连协议迁移。

力图找到一种现有IP的替代版本的过程，不亚于一场和时间的赛跑：如果能十分高效地分配IP网络地址，仍然可能达到略大于40亿台主机的绝对最大值。尽管IPv4采用低效的分级寻址机构，在同样限制连入全球Internet的网络和主机总数的条件下，还允许高效地选路。任何对Internet或TCP/IP连网及其不断增长的生命力感兴趣的人最好阅读本书以便更好地了解IP是如何工作的，为什么IPv6会工作得更好以及为适应变化需做哪些准备。

基于TCP/IP协议集中对现有IP版本和其他协议如何工作和行为的讨论，本书的第一部分讨论了过去20年来提出的问题，以及为解决这些问题采用的各种解决方案，还介绍了新的IPv6以及如ICMP、DNS和选路协议等相关协议的特性、功能和操作。

本书的第二部分深入研究了新协议的工作，重点阐述了IPv6地址处理、IPv6扩展、IPv6对身份验证和安全性的支持、IPv6对任意点播与组播的支持以及IPv6对移动主机的支持。同时包括对IPv6选路议题和解决方案，以及如DNS和ICMP等其他协议对适应新版本IP的改动的讨论。

本书最后一部分探讨了应用方面的议题。讨论了网络产品厂商关于产品和转变策略的战略要适合于个人用户和小型组织以及具有大型网络的大型组织。选项包括隧道方法、双栈方法以及支持IPv6的Internet骨干结构的开发。

最后为附录，包括了一个相关RFC的清单以及若干最重要、最令人感兴趣的IPv6 RFC的完整文本。

本书面向的读者

本书适合于工作涉及Internet或任何其他TCP/IP网络的读者阅读。不论是用TCP/IP网络进

行网络建设、网络支持、网络经营和管理以及商务管理，还是用TCP/IP网络销售产品或服务，读者都必须为自己的下一步做好准备。本书将帮助读者随时准备应变。

本书包含的内容

本书组织成三部分。第一部分提供一个基本概述。它不仅介绍IPv6本身，也介绍IPv4及需要更新的相关协议。阅读完第一部分后，对IPv6本身将有一个大概的了解，还将明白为什么必须更新IPv6，同时将了解IPv6如何在这几年中进化成当前的形式以及哪些相关的协议会受到影响。

第二部分深入探讨新协议工作的细节，重点阐述了IPv6是如何工作的，其中包括IPv6地址、IPv6扩展、IPv6对身份验证和安全性的支持、IPv6对任意点播与组播的支持以及IPv6对移动主机的支持。同时还包括对IPv6选路议题和解决方案，以及如DNS和ICMP等其他协议对适应新版本IP的改动的讨论。

在本书前两部分的基础上，第三部分探讨过渡和应用方面的议题。讨论网络产品厂商关于产品和转变策略的战略要适合于个人用户和小型组织以及具有大型网络的大型组织。选项包括隧道方法、双线方法以及支持 IPv6的Internet骨干结构的开发。

第1章：为何要升级IP

本章解释为什么需要升级，为什么这种需要是紧迫的，以及升级对于IP网络的用户、系统管理者、系统设计师和设计人员会产生什么样的后果。

第2章：TCP/IP网际互联简介

本章简述TCP/IP网际互联，总结TCP/IP基本理论的和实际的基础知识。重点解释了IP的当前版本，IPv4是如何工作的(从IP寻址到IP选路的议题)。本章为不熟悉TCP/IP的读者提供一个精炼的概述。对最近没有研究过TCP/IP连网的读者是一堂复习和最新的动态介绍课。

第3章：IPv4的问题

本章陈述IPv4存在的问题。尽管IPv4获得了难以置信的成功，但仍需改进。最明显的需要改进之处是地址空间的规模；其他议题关系到性能和IP头设计和使用的方法。安全性、性能和系统管理控制议题也在本章讨论之列。

第4章：通向IPng之路

下一代IP简称IPng，尚未完全完成，但随时在改进中，已有数个初始的提案。本章探讨用来升级IPv4的不同的方法，并讨论这些提案如何帮助形成IPv6的最终形式。

第5章：IPv6的成型

本章陈述IPv4的更新，考察新的协议头域和IPv6地址空间，并强调变化和IPv6的新特征。本章也介绍必须更新的各种控制和选路协议，以及IPv6对已有传输和应用协议的影响。

第6章：IPv6寻址

本章详细叙述IPv6地址空间，讨论IPv6地址格式和命名、分级网络寻址，介绍移动连网

需求、IPv6地址类别和单播、任意点播和组播寻址。

第7章：IPv6扩展头

本章讨论IPv6头字段的含义、它们是如何工作的以及与IPv4的区别。强调了头扩展的使用以及巨型报、源选路和安全性的使用。

第8章：IPv6选路

本章叙述IPv6选路是如何工作的，并考察IPv6试图解决的选路问题和新的或为IPv6修改过的选路协议。与选路有关的不同的传输类型(单播、任意点播或组播)也在本章中讨论。

第9章：IPv6身份验证和安全性

期望在IP层使用身份验证和安全性机制，多年来一直是有争议的。本章讨论如何在IPv6中实现身份验证和安全性机制，包括安全口令的传输、加密和数据报上的数字签名等。

第10章：相关的下一代协议

TCP/IP协议集中的协议可以直接与包括各种选路协议及ICMP、TCP、UDP的网际协议进行互操作。本章说明为了与IPv6协调这些协议必须做出的修改及其原因。

第11章：自动配置和移动IP

IPv6的设计目标之一是“即插即用”，也就是具有这样的能力：将一台计算机(或其他设备)插入到一个IPv6网络，无需网络系统管理人员进行网络配置，就可以工作。IPv6与自动配置问题紧密联系在一起的一个设计目标是移动IP，或者说具备这样的能力：一个节点或一个网络能无缝地从一个网络或网络供应商移到另一个网络或网络供应商。本章探讨IPv6如何完成自动配置和移动IP。

第12章：IPv6过渡策略

如果需要从IPv4全面转换成IPv6，完全是可行的。为了确保IPv6能正常工作，必须从IPv4到IPv6平稳过渡，并允许具有后向和前向兼容性的简便迁移路径。从现有网络以相对低的影响更新到IPv6是完全可能的，只要升级有条不紊地和明智地进行。本章讨论为了平稳过渡，建议采用的双栈和IPv6隧道策略。

第13章：IPv6解决方案

支持IPv6的连网产品以它们特定的方式缓慢而稳定地进入市场。本章着重介绍支持IPv6的当前已经上市或者即将上市的产品，并解释如何使用这些产品，这对网络专业人员很有帮助。

附录

附录A提供1998年秋季出版的与IPv6有关的所有RFC的索引。附录B包括一小部分最重要、

最令人感兴趣的与IPv6有关的RFC。虽然某些RFC的某些部分可能读起来枯燥无味，但是绝大部分是技术写作型，以紧凑而精确的散文形式表达了丰富的技术信息。具有普通技术教育的绝大部分读者能从阅读绝大部分的RFC中获益。

如何使用本书

具有不同级别连网经验的读者可以用下面不同的方法来使用本书。

对于那些具有丰富连网经验的读者会发现本书是一本非常有用的技术参考书。他们可以跳过或浏览第1章至第4章，然后从介绍IPv6的第5章开始继续阅读。当然也可以直接读本书的其余部分，挑选阅读那些自己最感兴趣的题目。

具有网络专门技能，但对TCP/IP相对陌生的读者，最好阅读前五章，至少要阅读关于TCP/IP简要介绍的第2章，以及获得阅读本书其余部分所必须的基础知识的第5章。网络初学者将会从阅读全书中获益，或者可以先阅读一些介绍TCP/IP的书，其中我的另一本书《TCP/IP Clearly Explained》(AP Professional, 1997)是一本好书。

如果要对运行在IPv6网络上的应用进行编程设计，或者要在IPv6上开发其他类型的产品，本书将使读者对新协议有一个基本了解，同时在阅读IPv6 RFC时是一本有用的参考书。

期盼读者的反馈

本书的目的是想帮助读者了解这令人兴奋的新技术。如果读者对书中某些部分读不懂，或不喜欢，或者发现有错误之处，请告诉我。如果发现书中某些部分特别有用或写得好，也请告诉我。读者的反馈是改进本书最有力的根据。我热切盼望读者发来电子邮件。下面是我的电子邮件地址：pete@loshin.com。也可以用下面地址发信件由出版商转作者：

Pete Loshin
c/o Morgan Kaufmann
200 Wheeler Road
Burlington, MA 01803

目 录

译者序

前言

第一部分 IP基础知识

第1章 为何要升级IP	1
1.1 IP的影响	1
1.1.1 什么是IP	2
1.1.2 IP应用在哪些地方	3
1.1.3 有多少人在使用IP	3
1.1.4 当IP发生变化时会产生哪些影响	4
1.2 IPv4的局限性及其缺点	4
1.2.1 IP地址空间危机	5
1.2.2 IP性能议题	5
1.2.3 IP安全性议题	6
1.2.4 自动配置	6
1.3 紧迫感	7
第2章 TCP/IP网络互联简介	8
2.1 网络互联问题	8
2.2 分层网络互联模型	9
2.2.1 OSI模型	10
2.2.2 Internet模型	10
2.2.3 封装	11
2.3 IP	12
2.3.1 IP寻址	13
2.3.2 IP头	15
2.3.3 数据报的转移	17
2.4 ICMP	18
2.5 选路、传输和应用协议	18
2.5.1 选路协议	19
2.5.2 传输协议	19
2.5.3 应用协议	19
第3章 IPv4的问题	20
3.1 修改还是替换	20
3.2 过渡还是不过渡	26

第4章 通向IPng之路	27
4.1 概念的诞生	27
4.1.1 对Internet将来的估计	27
4.1.2 Internet发展中需要考虑的领域	28
4.2 第一回合	29
4.3 拾遗	31
4.4 IPv6, 第一回合	32
4.5 IPv6, 第二回合	32

第二部分 IPv6细节

第5章 IPv6的成型	33
5.1 IPv6	33
5.1.1 变化概述	33
5.1.2 包头结构	35
5.1.3 IPv4与IPv6的比较	36
5.1.4 流标签	37
5.1.5 业务流类别	37
5.1.6 分段	38
5.1.7 扩展头	39
5.2 ICMPv6	40
第6章 IPv6寻址	43
6.1 地址	43
6.1.1 地址表达方式	43
6.1.2 寻址模型	44
6.1.3 地址空间	45
6.2 地址类型	46
6.2.1 广播路在何方	46
6.2.2 单播	46
6.2.3 单播地址格式	47
6.2.4 组播	51
6.2.5 泛播	53
第7章 IPv6扩展头	54
7.1 扩展头	54
7.2 扩展头的用法	54

7.2.1 扩展头的标识	55	10.1.2 传输层	80
7.2.2 扩展头的顺序	56	10.1.3 链路层	81
7.2.3 建立新的选项	56	10.2 IPv6域名系统扩展	81
7.2.4 选项扩展头	56	10.3 地址解析协议和邻居发现	82
7.2.5 选项	57	第11章 自动配置和移动IP	84
7.3 逐跳选项	58	11.1 IPv6的即插即用	84
7.4 选路头	59	11.1.1 状态自动配置与无状态自动配置	84
7.5 分段头	59	11.1.2 IPv6无状态自动配置	85
7.6 目的地选项	60	11.1.3 BOOTP和DHCP	86
第8章 IPv6选路	62	11.1.4 DHCPv6	86
8.1 地址对IP网络的影响	62	11.2 移动网络技术	86
8.1.1 标识符和定位符	62	11.2.1 IPv4中的移动IP	87
8.1.2 地址分配、无缝互操作和网络拓扑	64	11.2.2 IPv6中的移动IP	87
8.2 选路问题	65		
第9章 IPv6身份验证和安全性	69	第三部分 IP过渡和应用	
9.1 为IP增加安全性	69	第12章 IP过渡策略	89
9.1.1 安全性目标	69	12.1 IPv6协议隧道方法	89
9.1.2 RFC 1825及建议的更新	70	12.1.1 与IPv4兼容的IPv6地址	90
9.2 IPsec	70	12.1.2 配置隧道和自动隧道	90
9.2.1 加密和身份验证算法	71	12.1.3 IPv6隧道类型	90
9.2.2 安全性关联	73	12.2 IPv4/IPv6双栈方法	91
9.2.3 密钥管理	74	12.3 IPv6地址分配	92
9.2.4 实现IPsec	74	12.4 6BONE	93
9.2.5 隧道模式与透明模式	75	第13章 IPv6解决方案	94
9.3 IPv6安全性头	76	13.1 需要支持IPv6的产品	94
9.3.1 身份验证头	76	13.2 正在开发IPv6产品的公司	94
9.3.2 封装安全性净荷头	78	13.3 对IPv6的期待	95
第10章 相关的下一代协议	80	附录A 与IPv6有关的RFC索引	97
10.1 协议的层次	80	附录B RFC精选	100
10.1.1 应用层	80		

第一部分 IP基础知识

第1章 为何要升级IP

我们都知道岁月的流逝并不会使一些美好的事物消失。但不幸的是,一些现在看来不错的事物并不意味着能够永远使用下去——无论它现在是多么的辉煌,它或者将会过时,或者将被开发殆尽,总会有新鲜的事物遮盖它原有的光芒。而当这种好的事物已经成为基础设施的一部分的时候,对它的维护变得非常重要,而了解何时对它进行升级以及如何以最少的混乱、最低的代价进行升级则显得尤其重要。

IP第4版作为网络的基础设施而广泛地应用在Internet和难以计数的小型专用网络上,这就是著名的IPv4。IPv4是一个令人难以置信的成功协议,它可以把数十个或数百个网络上的数以百计或数以千计的主机连接在一起,并已经在全球Internet上成功地连接了数以千万计的主机。IP协议诞生于70年代中期,可以用几种不同方式表示IP的存在时间,本章以及本书的其他部分中将有更详细的描述。但是,就像被过度使用的桥或高速公路一样,IPv4已经走到了尽头并且必须马上升级。

本章将讨论以下议题:

- 什么是IPv4,为什么它如此重要?
- IPv4中存在哪些问题,它为什么需要升级?
- 为什么我们现在就需要修补IP而不是等到将来?
- IP的升级对于用户、网络操作员、管理者和供货商究竟有哪些影响?

在本书中,IP用来指网际协议的各个版本,IPv4是指1998年及早些时候使用的IP。IPv6指的是由Internet工程任务组(IETF)制订的用来取代IPv4的新的IP版本,该协议公布在最近发表的IETF的RFC文档中。

1.1 IP的影响

元素、化合物及服务已经融入了我们(以及我们的父辈和祖父辈)的日常生活,但IP与此不同,在我们的印象中,它的使用还远不能像使用电力或道路网络一样的熟悉和必不可少。即便如此,无论是个人计算机产品还是大型主机产品,对于IP的支持实质上已经成为新的计算机硬件、软件或网络设备最普遍的功能之一。网际协议及其相关协议已经取得了IBM和苹果、微软、网景、Sun、Novell、康柏、莲花及所有其他主要计算机厂商的共识。本节将介绍以下问题:

- 究竟什么是IP?
- IP可以应用在哪些地方?
- 有多少人、多少计算机和网络在使用IP?

- 如果IP发生变化, 我们能够预计到什么?

1.1.1 什么是IP

IP解决的最根本的问题是如何把网络连接在一起, 也就是把计算机连接在一起, 而且除了其他计算机的网络地址之外, 这些连接起来的计算机无需了解任何的网络细节。这就有以下三个要求: 首先, 每个连接在“网络的网络”上的计算机必须具有唯一的标识; 其次, 所有计算机都能够与所有其他计算机以每个计算机都能识别的格式进行数据的收发; 最后, 一台计算机必须能够在了解另一计算机的网络地址后把数据可靠地传至对方, 而无需了解对方计算机和网络的任何细节。IP实现了上述目标。详细的介绍参见第2章, 本节将进行扼要(可能是非常简单的)介绍。

所谓“网络的网络”就是互联网络(internetwork), 也被简称为互联网(internet)。全球Internet与它们的区别在于它的第一个字母是大写的I。最近, 内联网(intranet)逐渐取代互联网用于指称使用TCP/IP的机构网络。

TCP/IP网络协议集基于一个四层的网络互联模型来连接任意两个系统。最底层是物理层, 位于物理层之上的是数据链路层, 用于在网络媒体(如以太网电缆或无线发送器)上传输计算机格式的数据。这一层协议使得连接在同种媒体上的两个系统可以通信, 但不能与未连接在同一媒体上的系统通信。换言之, 所有连接在办公室的以太网集线器上的PC机之间可以在数据链路层直接进行通信, 但也只有连接在该集线器上的计算机才能彼此通信。

在数据链路层, 数据被发送到与计算机的网络接口相关联的地址。这意味着每个将计算机连接到网络的设备都有一个类似于序列号的地址: 对该连接设备这个地址通常是唯一的, 每个设备“侦听”目的地址与自己的地址相同的数据包。如果一个系统没有连接到特定网络上的设备, 它就不能与网络上的其他系统在数据链路层上直接通信。

不在同一个物理网络上的系统不能在数据链路层直接进行通信的部分原因, 在于连接在不同的网络上的计算机往往使用不同的协议。例如: 使用令牌环网的计算机无法理解以太网上传输的数据。另一个原因是链接不同链路层协议的网络需要特殊类型的系统, 这种系统被称为网关(gateway)。网关是一个同时连接两个或更多运行不同协议网络的计算机, 它可以将来自一种数据链路层协议的数据翻译成另一种协议。但即便有了网关, 仍然需要一些其他的办法来连接异构的网络。

数据链路层的上一层被称为网际层, 正是在这一层, 位于不同物理网络上的设备可以进行通信。每一个接口被分配了一个网际层地址, 这个地址在连接在该互联网络上的所有系统中具备唯一性(使用IP连接到网络上的系统通常称为主机)。所有连接在同一个互联网络上的主机可以理解这些地址, 并可以在必要时使用各种方法将这些地址与数据链路层的地址进行映射。路由器正是在Internet层发挥作用的: 这些系统(也可以是网络协议网关)连接在两个或更多的网络上, 并由连接到这些网络上的所有主机使用, 以向远端网络上转发数据包。

一个需要全球唯一地址的网络示例是电话系统: 每个电话用户必须具备一个唯一的电话号码。随着电话网络的扩展和用户数量的增加, 电话公司用增加交换局和地区号来加长电话号码的做法并不少见。与电话号码不同, 虽然IP地址也是由数字组成, 但它既不能多于也不能少于32位。正如在美国使用的10位电话号码把电话用户的数量

限制在了 10^{10} 之内, 32位地址限制了Internet的地址数量不能超过 2^{32} , 即接近于40亿。与电话号码一样, 真正可用的地址少于理论值(在Internet地址中更少), 这主要是由于一些号码被保留或具备了特殊意义。地址空间的限制是IPv4的根本问题, 本书将进一步讨论这个问题。

当一台主机需要向另一台主机发送数据时, 它将检查目的主机的Internet地址。如果该地址与自己连接在同一物理网络上, 则发送端主机简单地通过数据链路层将数据包发送至目的地。在这种情况下, 以太网上的发送端主机将通过以太网传输直接到达目的主机。

但是, 如果发送端主机发现目的方主机与自己不是连接在同一物理网络上, 那么发送端主机将把数据发给与自己连接在同一个物理网络上的路由器。然后, 该路由器判断数据的目的地址是否属于与自己直接连接的网络。如果是, 该路由器将简单地把数据交给目的主机; 如果该数据的目的地址不属于与自己直接连接的网络, 该路由器将把数据转发给连接在其他网络上的路由器。如此继续, 如果一切顺利的话, 直到将数据最终交给与目的主机在同一物理网络上的路由器为止。

其他TCP/IP网络互联操作在传输层和应用层上完成。在传输层上, 数据在通信系统的实际进程之间移动; 在应用层上, 数据在应用自身之间移动。这些层以及网络层将在第2章中详细讨论。

1.1.2 IP应用在哪些地方

许多年以来, 只有在大学或研究机构的网络中才能找到IP的应用。而IP的商用产品直到80年代后期、90年代初期才出现, 即使这样, 这些产品仍被定位为专用产品。直到1995年, TCP/IP才被普遍引入到个人计算机产品中, 因为从那时起, Novell和微软开始选择IP作为连网协议来支持其打印和文件服务的网络传输。

这意味着正在使用IP的不仅包括每个连接到Internet的计算机, 还包括所有使用这些网络操作系统来访问机构资源的所有计算机, 而不论这些计算机是否连接到Internet。

从手提式电脑到功能强大的超级计算机, 目前使用的所有计算机几乎都支持IP。另一方面, IP也越来越多地用于连接其他设备, 从而可以任意地使用网页浏览客户机访问内置网页服务器以实现对家用电器和安全系统的远程控制。

使用IP的网络除了Internet之外还包括称作内联网的公司网络, 其规模可以从一个办公室中连接在一起的几台主机到分布在全球范围内的所有分支机构的数以万计的主机。IP网的另一个特例是外联网(extranet), 它是出于某个共同目标在实体间提供安全连接的专用IP网。例如, 外联网可用于把不同公司的成员连接成一个工作组或把需要传递订货和执行信息的商业伙伴连接起来(如需了解更多的关于外联网的信息, 参见作者的另一本书《Extranet Design and Implementation》(SYBEX,1997))。

从计算机硬件和软件到家庭娱乐产品、移动电话, 甚至支持无线Internet连接的汽车, 这些支持IP的产品的数量体现出IP对于当今世界的通信基础设施的重要性。

1.1.3 有多少人在使用IP

“有多少人在使用连接到IP网络的系统”是一个复杂的问题。对于运行IP和连接到Internet的网络数量, 曾经一度有一个简单的计算方法: 可以根据由不同网络授权机构指派的网络地址数量作出判断。可这种方法并不能保证其正确性, 因为它忽略了那些运行IP但没有连接

Internet的网络。

如今情况更加复杂, 因为一个网络地址可以分为子网, 由使用同一个Internet服务供应商(ISP)的多个机构共享。与此类似, 还有很多机构在连接到Internet时采用了网络地址翻译技术(这种方法在内部主机/网络与外部主机/网络间使用网关作为媒介, 网关把只有内部网才能识别的内部网络地址翻译为外部网络能够识别的地址), 在官方的统计数据中同样也不会包含这种网络。以上两种技术将在后续章节进一步讨论, 使用这两种技术可以连接更多网络, 但同时加大了准确统计Internet网络数量的难度。

即使网络数量的准确统计成为可能, 每个网络中包含的主机也并非都可计数。今天, 网络中越来越多的公司使用地址翻译技术和防火墙技术把公司的资源隐藏起来, 任何一个网络所连接的主机名字和数量对于公司外部的人都很难辨别和获得。

最后, 想要统计出通过这些系统访问IP网络的个人用户数量更是难上加难。大型主机和超级计算机可能有数以百计甚至更多的用户, 同时还有一些用户使用多台计算机。结果是必须推测每台计算机上的平均用户数量, 实际的数目可能是高达每台计算机300个用户也可能低至每台计算机1/3个用户。

根据过去十年中令人目瞪口呆的增长速度, 研究分析者提出了一些不同的估计, 但毋庸置疑的是, Internet上肯定有数千万台主机, 且使用IP的个人用户数量有一亿甚至更多。

1.1.4 当IP发生变化时会产生哪些影响

正如你看到的一样, IP的升级将影响许多人和机构。当从IPv4向IPv6转变时, 可能会发生一些事情, 而这些都需要网络管理员来应付。首先, 可能没有任何变化: 没有软件/硬件升级、服务不变、一切不变, 只要网络管理员选择不进行任何升级或只升级与Internet的连接。相反, 也可能有很大变化, 许多新的网络软件需要分发和配置, 新的应用需要安装和升级, 升级时出现的故障需要应付; 此外, 升级还会给用户、机构和网络管理员带来显著的好处。

过渡方案以及不同的过渡策略将在第12章中进一步讨论。

1.2 IPv4的局限性及其缺点

在当前计算机工业飞速发展的步伐下, 指出IPv4的局限性和缺点如同指出小汽车和卡车的内燃机是有缺陷的动力源一样。IP的确是一个非常强壮的协议, 并已经证明了它能够连接小至几个节点, 大至Internet上难以计数的主机。为交通工具选择动力源时, 只要能像汽油机或柴油机一样提供动力, 任何人都可以使用包括电能、太阳能或是风能作为上路的动力而不会影响别人, 与此不同的是, IP的升级将对所有使用IP的人产生重大影响。

TCP/IP的工程师和设计人员早在80年代初期就意识到了升级的需求, 因为当时已经发现IP地址空间随着Internet的发展只能支持很短的时间。本节将介绍IP必须升级的原因以及可以同时改进之处, 其中包括:

- 地址空间的局限性: IP地址空间的危机由来已久, 并正是升级的主要动力。
- 性能: 尽管IP表现不错, 一些源自20年甚至更早以前的设计还能够进一步改进。
- 安全性: 安全性一直被认为是由网络层以上的层负责, 但它现在已经成为IP的下一个版本可以发挥作用的地方。
- 自动配置: 对于IPv4节点的配置一直比较复杂, 而网络管理员与用户则更喜欢“即插即

用”，即：将计算机插在网络上然后就可以开始使用。IP主机移动性的增强也要求当主机在不同网络间移动和使用不同的网络接入点时能提供更好的配置支持。

1.2.1 IP地址空间危机

Internet经历了核爆炸般的发展，在过去的10到15年间，连接到Internet的网络数量每隔不到一年的时间就会增加一倍。但即便是这样的发展速度，也并不足以导致90年代后期IP地址的匮乏。

IP地址为32位长，经常以4个两位十六进制数字表示，也常常以4个0至255间的数字表示，数字间以小数点间隔。每个IP主机地址包括两部分：网络地址，用于指出该主机属于哪一个网络(属于同一个网络的主机使用同样的网络地址)；主机地址，它唯一地定义了网络上的主机。这种安排一方面是IP协议的长处所在，另一方面也导致了地址危机的产生。

由于IPv4的地址空间可能具有多于40亿的地址，有人可能会认为Internet很容易容纳数以亿计的主机，至少几年内仍可以应付连续的倍增。但是，这只适用于IP地址以顺序化分布的情况，即第一台主机的地址为1，第二台主机的地址为2，依此类推。通过使用分级地址格式，即每台主机首先依据它所连接的网络进行标识，IP可支持简单的选路协议，主机只需要了解彼此的IP地址，就可以将数据从一台主机上转移至另一台主机。这种分级地址把地址分配的工作交给了每个网络的管理者，从而不再需要中央授权机构为Internet上的每台主机指派地址。到网络外的数据依据网络地址进行选路，在数据到达目的主机所连接的路由器之前无需要了解主机地址。

通过中央授权机构顺序化地为每台主机指派地址可能会使地址指派更加高效，但是这几乎使所有其他的网络功能不可行。例如，选路将实质上不可行，因为这将要求每个中间路由器去查询中央数据库以确定向何处转发包，而且每个路由器都需要最新的Internet拓扑图获知向何处转发包。每一次主机的地址变动都将导致中央数据库的更新，因为需在其中修改或删除该主机的表项。

IP地址被分为五类，只有三类用于IP网络，这三类地址一度被认为足以应付将来的网络互联。A类地址只有126个，用于那些最大的实体，如政府机关，因为它们连接着最多的主机：理论上最多可达一千六百万台。B类地址大约16 000个，用于大型机构，如大学和大公司，理论上可支持超过65 000台主机。C类网络超过两百万个，每个网络上的主机数量不超过255个，用于使用IP网络的其他机构。

更小的公司，某些只有几台主机，它们对于C类地址的使用效率很低；而大型机构在寻找B类地址时却发现越来越难；那些幸运地获得A类地址的少数公司很少能够高效地使用它们的一千六百万个主机地址。这导致了在过去几年中一直使用的网络地址指派规程陷入了困境，在试图更有效地分发地址空间的同时，还要注意保存现有的未指派地址。与此同时，一些解决地址危机的办法开始得以广泛使用，其中包括无类域间选路(CIDR)、网络地址翻译和使用非选路网络地址。

IP寻址将在第2章中详细解释，而与IPv4地址短缺相关的问题、挑战和临时解决方案将在第3章中讨论，IPv6的地址空间将在第6章中详细介绍。

1.2.2 IP性能议题

IP刚开始时，从各方面看就像一个实验品，其主要目的在于为在异种网络间进行数据的

可靠、健壮和高效传输探索最佳机制，从而实现不同计算机的互操作。在很大程度上IP实现了此目标，但这并不意味着IP可以继续实现这些目标，也不意味着在对IP进行修改后而不能更好。在过去的几年中，很明显不仅IP有改进余地，同时新的开发也导致修改IP的呼声越来越高。在这次升级中考虑了最大传输单元、最大包长度、IP头的设计、校验和的使用、IP选项的应用等议题。针对这些议题已经提出了专门建议并已引入IPv6中，这将有利于提高IPv6的性能并改进IPv6作为继续高速发展的网络的基础的能力。

与IPv4性能相关的问题和挑战将在第3章中讨论，而IPv6的解决方法将在第7章和第8章中详细解释。

1.2.3 IP安全性议题

刚开始时连入Internet的都是侧重于研究与开发的机构，至少其中的研究人员互相间了解各自的名声，而它们与军队和政府的密切关系也保证了安全性不是一个主要问题。更重要的是，很久以来人们认为安全性议题在网络协议栈的低层并不重要，应用安全性的责任仍交给应用层。在许多情况下，IPv4设计为只具备最少的安全性选项，而IPv6的设计者们已在其中加入了安全性选项来强力支持IP的安全性。

IPv6安全性的增强无疑将改进虚拟专用网(VPN)的互操作性。IPv6的安全性特性中包括数据的加密与对于所传输的加密数据和未加密数据进行的身份验证。这些功能也许将被证实是有价值的，但其价值(和功效)将主要体现在政治上而不是技术上。

IPv4的安全性议题将在第3章中有所介绍，而IPv6对于安全和身份验证的解决方案将在第9章中详细解释。

1.2.4 自动配置

在IP还很年轻时，大部分计算机被放在雕花地板的房间里且其价格超过了大多数人一年(甚至更长时间)的收入。这些系统无法搬到任何其他地方去：它们年复一年地放在一个房间或建筑物中，它们与Internet的连接基本上是静态的，极少改变。那时也没有ISP，它们通过电话公司提供的线路来链接至其他网络或Internet骨干网。

现在事情有了些变化。有数百个ISP可供选择，如果对于用户系统与网络间的选路和转发没有影响的话，理论上用户可以在不同的ISP间切换，从而更好地利用不同的速率和服务。同样，越来越多用户的工作方式要求网络服务具有更大的移动性。他们可能在家中使用的一个或多个系统，可能在世界各地使用所携带的膝上型或笔记本电脑，也可能使用办公室中的任何一部电脑。更复杂的事情在于，这些人可能不只受雇于一个雇主，也可能为多个雇主工作。即便是同一个人使用同一部计算机，该计算机也会频繁地升级或售出。

随着工作和计算机对于移动性要求的与日俱增，IP也必须做出一些改变以适应这种需求。针对这个问题，IPv4已经有了一些改变，动态主机配置协议(DHCP)可以允许系统在启动甚至只在需要时才通过服务器获取其正确和完整的IP网络配置。目前，主机(无论是移动的还是固定的)仍然依赖于到网络的单点连接。当用户携带笔记本电脑出差时，只需给其ISP打一个电话就可以恢复连接能力。如果该ISP不能提供区域外的免费长途号码，就需要打长途电话来拨入该ISP。

但是，还可以进行更多的改进，IPv6应该能够旁路到单一ISP的静态连接，让用户系统能

够检测到最近的网络网关并通过它进行连接。目前尚不清楚这个功能如何实现，这里暂不讨论，但IPv6将可能实现该功能，其技术细节将在第11章中解释。

1.3 紧迫感

对IP地址体系结构不足的官方认可可以参见1991年发布的RFC 1287，其中定义了IP在成长过程中遇到的问题。至少从1992年就已开始了网络地址的定量分配，那时候对新的B类地址提出了要求，而不足以使用B类地址的中型机构开始接受成块的C类地址(参见RFC 1366和RFC 1466)。

与最后一分钟(或更晚)才开始的为2000年问题所做的努力不同，IPv6的升级工作体现了多年来许多专职工程师和计算机科学家的努力。他们已完成的工作使Internet和其他IP网络继续高效地发挥作用并保持多年的增长。