

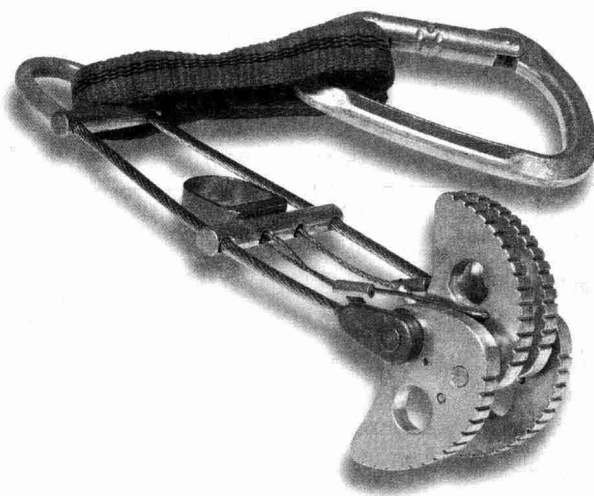
深入解析 IPv6 (第2版)

[美] Joseph Davies 著
杨轶 苏啸鸣 吴超 译



深入解析 IPv6 (第2版)

[美] Joseph Davies 著
杨轶 苏啸鸣 吴超 译



人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (C I P) 数据

深入解析IPv6 / (美) 戴维斯 (Davies, J.) 著; 杨轶, 苏啸鸣, 吴超译. —2版. —北京: 人民邮电出版社, 2009.6

ISBN 978-7-115-20617-6

I. 深… II. ①戴…②杨…③苏…④吴… III. 计算机网络—传输控制协议 IV. TN915.04

中国版本图书馆CIP数据核字 (2009) 第040690号

版 权 声 明

Copyright © 2008 by Microsoft Corporation.

All rights reserved.

Original English language edition © Understanding IPv6, Second Edition by Joseph Davies.

Published by arrangement with the original publisher, Microsoft Corporation, Redmond, Washington, U.S.A.

本书原版由微软出版社出版。

本书简体中文版由微软出版社授权人民邮电出版社独家出版。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。

此版权限在中华人民共和国境内 (不包括中国香港、澳门特别行政区及中国台湾地区) 销售发行。

版权所有, 侵权必究。

深入解析 IPv6 (第 2 版)

- ◆ 著 [美] Joseph Davies
- 译 杨 轶 苏啸鸣 吴 超
- 责任编辑 李 际
- 执行编辑 翟 磊
- ◆ 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 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京顺义振华印刷厂印刷
- ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 27.5
字数: 620 千字 2009 年 6 月第 1 版
印数: 1—3 000 册 2009 年 6 月北京第 1 次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2008-3850 号

ISBN 978-7-115-20617-6/TP

定价: 65.00 元

读者服务热线: (010)67132705 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

内 容 提 要

本书详细地讲述了 IPv6（即 Internet Protocol version 6，新一代的互联网协议）的概念、原理与实现过程，并结合 Windows Server 2008 和 Windows Vista 系统环境讲解了 IPv6 的具体实现与应用方法。

本书适合 Windows 网络管理员、微软认证系统工程师、微软认证系统培训师阅读，也可作为网络管理、软件开发及测试等计算机专业课程的教材。

序

为什么微软会关注 IPv6

最近五年中，一直有人问我这个问题。答案没有改变，原因和几年前一样重要，那时几名工程师在微软研究院开始为 **Microsoft Windows 2000** 创建 **IPv6** 栈。

我们看到了对连接的迫切需求开始促成新的网络栈方案和需求。用户要移动，设备要在各种地方使用各种程序，这已成为趋势。我们相信 **Windows** 要支持这种趋势，让开发人员能开发出新的可互操作、安全、可靠和动态的应用程序。

我们将这种程序称为“无缝应用程序”，因为它们定义了一系列新的功能，这些功能现在逐渐变得常见。整合的软件和设备、通过多个设备发布数据或漫游体验，这些都使用户在任何时候和任何地点都能享受一种无缝的体验。

无缝体验的影响将会很深远。每个人都可以用现在还无法做到的方式来控制自己的数字世界。个人计算机（PC）将让位于借助多台 PC 和设备的“个人计算”，用户可以在任何时间从任何地点访问他们的信息。而 IT 将获得新的生命，它会更专注于企业的成功和员工的生产效率，而不再是开发硬件和子网。

在微软，我们相信下一代网络是实现持续开发和部署这种无缝应用的基石。**Windows Vista** 和 **Windows Server 2008** 提供了根基，它们的整个系统都默认支持 **IPv6**。我很荣幸成为这些发布版以及它们所代表的计算机和互联网的里程碑之中的一部分。

当然，对很多人来说，**IPv6** 技术带来了混乱。学习如何使用、管理、排除故障以及测试 **IPv6** 都很花时间。此书正是您学习这个新技术以及它带来的新功能的好资源。在您为实现无缝应用而努力的过程中，希望此书对您能有帮助。

Chris Mitchell

Windows 网络部门程序主管

自序

此书开始于 1999 年春,那时我制作了一些幻灯片并出席了华盛顿贝尔文社区学院举办的“介绍 IPv6”课程,有 4 名学生。尽管结果和期望的不一样,但学习 IPv6 所花的时间、制作幻灯片的过程以及向这些好奇的学生展示 IPv6 技术,积累了宝贵的经验,并为将来的努力打下了坚实的基础。

在 2000 年,作为 Windows 技术的一位作家,我编写了《Introduction to IP version 6》白皮书,该书在微软 Windows IPv6 网站(www.microsoft.com/ipv6)发布,这使我投入到任何和 IPv6 有关的文档中去。我也制作并发布了“IPv6 Overview”内部课程,其中 Tom Fout 给予了 Windows 套接字方面的帮助。这个单日课程在 2000 年 10 月开始向微软软件设计师、软件测试师、程序主管以及技术文档编写员传授。

我向技术内容开发的程序主管过渡,这使我有时间、精力和经验把“IPv6 Overview”课件和许多其他的关于 IPv6 的白皮书及文章变成《Understanding IPv6》,Microsoft Press, ISBN 978-0735612457),即本书的上一版。之后我继续开发 IPv6 的内容,支持过渡性的 Windows XP 的 IPv6 的发布,以及 Windows Server 2008 和 Windows Vista(服务和程序中完全集成了 IPv6 支持)的 IPv6 的发布。

《深入解析 IPv6(第 2 版)》囊括了所有这些努力的结果。我真诚地希望,从 1999 年春开始的工作最后凝聚成的这些结构良好、可读性强的文字,能够帮助读者学会并理解 IPv6 的概念、原理和过程。

——Joseph Davies

致 谢

我要感谢以下参与到此书第2版的章节及附录技术检查工作的微软员工：Khaja Ahmed、Chris Engdahl、Lee Gibson、Parakram Khandpur、Arnaud Lheureux、Chris Mitchell、Mike Owen、Corey Plett、Jory Prather、Aaron Schrader、Ben Schultz、Amit Sehgal、Sean Siler、Jeromy Statia、Michael Surkan、Lee Walker、Jeff Westhead、Kalven Wu、Yi Zhao。我要特别感谢 Chris Mitchell 为本书写序，感谢 Ben Schultz 在简介中的“直接引文”。我还要向 Dmitry Anipko 致以崇高的敬意，他是 Windows 网络核心开发小组的软件开发工程师，在基于标准的 IPv6 以及 Windows Server 2008 和 Windows Vista 的 IPv6 的实现细节方面给了我极其细致的反馈。

我还要感谢 Maria Gargiulo（Microsoft Press 的内容项目经理）、John Pierce（项目经理）、Bob Dean（技术评审员）、Roger LeBlanc（文字编辑）、Margaret Berson（校对）、Lucie Haskins（索引制作者）和 ICC 公司的生产团队。

最后，我要感谢我的妻子 Kara 和女儿 Katie，感谢她们在我写作的最后几个星期的耐心和宽容。

关于作者

Joseph Davies 是微软公司的技术文档编写员。他从 1992 年开始编写 TCP/IP、网络和安全方面的技术文档。刚开始他是微软公司技术小组的课件开发人员，然后转到 Windows 小组编写产品帮助和有关网络和安全技术的资料。从 2001 年开始，他一直在为 Windows 网络技术小组撰写白皮书、科网文章、网站和 Microsoft Press 的书籍。他是 TechNet 每月 Cable Guy 栏目 (<http://www.microsoft.com/technet/community/columns/cableguy/default.msp>) 的作者（该栏目现已出现在 TechNet 杂志上了）。

Joseph 是以下 Microsoft Press 图书的作者之一：《Windows Server 2008 Networking and Network Access Protection (NAP)》(2008)、《Deploying Virtual Private Networks with Microsoft Windows Server 2003》(2004)、《Microsoft Windows Server 2003 TCP/IP Protocols and Services Technical Reference》(2003)、《Microsoft Windows 2000 TCP/IP Protocols and Services Technical Reference》(2000)。他是下列图书的作者：《Understanding IPv6, Second Edition》(Microsoft Press, 2008)、《Windows Server 2008 TCP/IP Protocols and Services》(Microsoft Press, 2008)、《TCP/IP Fundamentals for Microsoft Windows》(TechNet, 2006)、《Deploying Secure 802.11 Wireless Networks with Microsoft Windows》(Microsoft Press, 2004) 以及《Understanding IPv6》(Microsoft Press, 2003)（这本书使他获得了 Puget Sound Society for Technical Communication (STC) Best of Show and International STC Distinguished 奖项）。

前言

本书讨论了 IPv6 (Internet Protocol version 6, 互联网协议版本 6) 的概念、原理和实现过程, 以及 Windows Server 2008 和 Windows Vista 操作系统对 IPv6 的支持。注意, 本书不涉及详细到代码的 Windows Server 2008 和 Windows Vista 的 IPv6 协议, 例如结构、表、缓冲或代码逻辑。这些细节是受到高度保护的微软知识产权, 只对一小部分相关的软件开发人员开放。不过, 此书包含了微软如何在 Windows Server 2008 和 Windows Vista 中实现 IPv6, 使它为特定程序运作, 以及如何利用 Netsh.exe 工具的命令和注册表值来修改默认行为的详细内容。

编写此书的目的是将它作为教学工具, 使读者在技术深度上对 IPv6 有所了解, 包括术语、地址、协议和过程。此书并不打算宣扬 IPv6 的市场前景概况以及它如何“提供集成的、可交互的技术, 为个人和企业计算开创新纪元”。这些内容笔者留给了那些比笔者更懂 IPv6 的人来讲解。毕竟笔者只是对协议和过程比较了解。笔者主要关注的是协议如何工作以及线路上能看到的東西(交换的数据包), 这些话题将占据本书的主要内容。



注意

本书的内容将遵循 IPv6 的互联网标准和作为 Windows Server 2008 和 Windows Vista 的 IPv6 协议的功能集。有关 IPv6 互联网标准的改变, 以及 Windows Server 2008 和 Windows Vista 的 IPv6 协议的改变等, 请参见微软的 Windows IPv6 网站 <http://www.microsoft.com/ipv6>。

直接引文: 为什么此书有用?

目前有一个关于 IPv6 的全球性争论。争论不是很激烈, 但它的频率在很多技术讨论中似乎正在增加。有人声称: IPv6 已经开发了 10 年以上, 却没有出现有用的部署。其中提到了 NAT (Network Address Translator, 网络地址变换) 和 CIDR (Classless Inter Domain Routing, 无类域间路由), 表明 IPv4 在某个遥远的日子才会耗尽。但是, <http://www.potaroo.net/tools/ipv4> 和 http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived_issues/ipj_8-3/ipj_8-3.pdf 的证据表明, 仅限于 IPv4 的特性的互联网时代不久就会终结。在出版这个版本的时候, 5 个区域互联网档案 (Regional Internet Registry, RIR) 中的 2 个公布 (可以在网站 <http://lacnic.net/ipv6/en/> 和 <http://www.arin.net/announcements/20070521.html> 上获取) 呼吁企业开始为 IPv6 作好计划。这很重要, 因为互联网档案在任何争论中都是公正的第三方组织。RIR 有一个问题需要解决: 为了满足互联网扩大的需求, 要维护一个巨大的唯一地址池。当其中保留的 IPv4 地址耗尽时, IPv6 就是唯一的可选替代物。本书使读者了解 IPv6 技术以及使 IPv6 运作的组件。鉴于当前的趋势, 这些知识对任何投入下一代网络的人来说都是最基本的。

Ben Schultz
IPv6 程序主管

本书的读者对象

本书适合下列类型的读者阅读。

- **Windows Server 2008 和 Windows Vista 网络顾问和规划师** 这部分人包含任何准备用 Windows Server 2008 和 Windows Vista 来最终实现 IPv6 迁移过程的人。
- **Microsoft Windows 网络管理员** 这部分人包含任何管理基于 IPv4 的网络并希望学习 Windows Server 2008 和 Windows Vista 的 IPv6 的技术知识及 IPv6 实现的人。
- **微软认证系统工程师（MCSE）和微软认证培训师（MCT）** 不管微软官方课程（MOC）的 Windows Server 2008 课件中关于 IPv6 的最终内容是什么，此书都可作为 IPv6 的 MCSE 和 MCT 的标准参考。
- **普通技术人员** 由于本书大部分内容是关于 IPv6 协议和过程，与 IPv6 在 Windows Server 2008 中的实现无关，因此普通技术人员可以把此书当作 IPv6 技术的较深入的初级读物。
- **信息技术专业学生** 本书最初是微软内部的软件开发人员、测试员和程序经理的课件，所以它也可作为组织或教学机构中的 IPv6 课程教材。

阅读此书的前提条件

本书假设读者拥有基本网络概念、对广泛使用的网络技术和 TCP/IP 的良好理解等基本网络知识。为了让读者能很好地过渡到 IPv6，笔者尽可能把 IPv6 和 IPv4 中的对应功能、行为或组件进行对比。

如果要打下坚实的 TCP/IP 协议的知识基础，那么没有比 Joseph Davies 所著的《Windows Server 2008 TCP/IP Protocols and Services》（Microsoft Press, 2008）更好的资源了。和本书一样，那本书主要是关于与实现无关的协议和过程。作为它的作者，我可能带有一些偏见。不过，在写本书时，一直想着《Windows Server 2008 TCP/IP Protocols and Services》，并将本书建立在它的基础之上。事实上，可以把本书和《Windows Server 2008 TCP/IP Protocols and Services》视为“姐妹书”。建议不管是否使用微软的软件，都应把《Windows Server 2008 TCP/IP Protocols and Services》作为 TCP/IP 的标准参考库。

本书结构

由于 IPv6 替代了广泛使用的 TCP/IP 协议集的互联网层，因此没有现成的套路来组织本书的材料。笔者按逻辑上的递进关系排列本书章节。比如，如果不先了解 IPv6 寻址、IPv6 报头和 ICMPv6，就很难理解邻节点发现过程；如果不先了解 IPv6 寻址、邻节点发现过程、名称解析和路由，就无法理解 IPv6 过渡技术。

本书附录

本书包含以下附录。

- **附录 A——链路层对 IPv6 的支持** 讨论了通常的 LAN（Local Area Network，局域网）和 WAN（Wide Area Network，广域网）技术数据包的链路层封装。
- **附录 B——Windows 套接字针对 IPv6 的改变** 描述了 Windows 套接字为了同时支持 IPv6 和 IPv4 而做的改进。
- **附录 C——IPv6 RFC 索引** RFC 和互联网草案的列表。在出版此书时，这部分 RFC 和互联网草案与 Windows Server 2008 和 Windows Vista 中的 IPv6 实现最密切相关；不准备将这部分附录设计为一个完全的列表，而且本附录在此书刊印之后不久就会在某种程度上有些过时。
- **附录 D——理解测试答案** 每章末都有“理解测试”，其中有一系列和该章内容相关的问题。此附录为那些问题提供答案。
- **附录 E——建立 IPv6 测试实验室** 这个附录回答了“怎样才能让它运作，让我来实践它”这个问题。通过使用此附录中的指令，可以用 5 台计算机创建一个 IPv6 测试实验室，这样就可以测试地址配置、路由和名称解析。最后，读者将得到一个同时运行 IPv4 和 IPv6，或者只支持 IPv6 的网络，可以利用这些网络自行实验。
- **附录 F——移动 IPv6** 关于移动 IPv6 的深入讨论。移动 IPv6 是一种协议，它允许 IPv6 主机在改变位置和地址的同时保持已有的传输层连接。
- **附录 G——IPv6 参照表** 重新列出了最重要的含有 IPv6 协议字段值和其他参数的 IPv6 表。

目 录

第 1 章 IPv6 简介	1
1.1 IPv4 的局限性	1
1.2 IPv6 的特性	5
1.2.1 新的报头格式	5
1.2.2 巨大的地址空间	5
1.2.3 无状态和有状态的地址配置	5
1.2.4 要求支持 IPsec 报头	6
1.2.5 更好地支持有序发送	6
1.2.6 新的邻节点交互协议	6
1.2.7 可扩展	6
1.3 IPv4 和 IPv6 的对比	6
1.4 IPv6 的术语	7
1.5 部署 IPv6	9
1.5.1 IPv6 能解决地址耗尽问题	9
1.5.2 IPv6 能解决不连续地址空间问题	9
1.5.3 IPv6 能解决互联网地址分配问题	10
1.5.4 IPv6 能恢复端对端通信	10
1.5.5 IPv6 使用限域地址和地址选择	10
1.5.6 IPv6 有更高的发送效率	11
1.5.7 IPv6 有安全性和移动性支持	11
1.6 理解测试	11
第 2 章 Windows Server 2008 和 Windows Vista 中的 IPv6 协议	12
2.1 Windows Server 2008 和 Windows Vista 中的 IPv6 的架构	12
2.2 Windows Server 2008 和 Windows Visa 中 IPv6 协议的特性	13
2.2.1 默认已安装、启用，且已选用	14
2.2.2 基本 IPv6 栈支持	15
2.2.3 IPv6 协议栈的改进	15
2.2.4 GUI 和命令行配置	16
2.2.5 集成的 IPsec 支持	16
2.2.6 Windows 防火墙支持	16

2.2.7	临时地址	16
2.2.8	随机接口 ID	16
2.2.9	DNS 支持	17
2.2.10	源和目的地址的选择	17
2.2.11	支持 ipv6-literal.net 域名	17
2.2.12	LLMNR	17
2.2.13	PNRP	18
2.2.14	URL 中的原生 IPv6 地址	18
2.2.15	静态路由	18
2.2.16	PPP 上的 IPv6	19
2.2.17	DHCPv6	19
2.2.18	ISATAP	19
2.2.19	6to4	19
2.2.20	Teredo	19
2.2.21	端口代理	20
2.3	应用程序支持	20
2.4	应用程序开发接口	20
2.4.1	Windows Sockets	21
2.4.2	Winsock Kernel	21
2.4.3	远程过程调用	21
2.4.4	IP 助手	21
2.4.5	Win32 互联网扩展	22
2.4.6	.NET Framework	22
2.4.7	Windows 过滤平台	22
2.5	手动配置 IPv6 协议	22
2.5.1	通过 Internet Protocol Version 6 (TCP/IPv6) 的属性来配置 IPv6	23
2.5.2	用 Netsh.exe 工具配置 IPv6	25
2.6	禁用 IPv6	27
2.7	支持 IPv6 的工具	28
2.7.1	Ipconfig	28
2.7.2	Route	29
2.7.3	Ping	30
2.7.4	Tracert	31
2.7.5	Pathping	32
2.7.6	Netstat	33
2.8	用 Netsh 显示 IPv6 配置	35

2.8.1	Netsh interface ipv6 show interface	35
2.8.2	Netsh interface ipv6 show address	35
2.8.3	Netsh interface ipv6 show route	36
2.8.4	Netsh interface ipv6 show neighbors	36
2.8.5	Netsh interface ipv6 show destinationcache	37
2.9	参考文献	37
2.10	理解测试	38

第 3 章 IPv6 寻址 39

3.1	IPv6 地址空间	39
3.2	IPv6 地址语法	40
3.2.1	压缩零位	41
3.2.2	IPv6 前缀	42
3.3	IPv6 地址的类型	42
3.4	单播 IPv6 地址	43
3.4.1	全球单播地址	43
3.4.2	全球地址的拓扑结构	44
3.4.3	本地使用的单播地址	45
3.4.4	唯一的本地地址	47
3.4.5	特殊的 IPv6 地址	48
3.4.6	过渡地址	48
3.5	多播 IPv6 地址	49
3.5.1	请求节点地址	50
3.5.2	映射 IPv6 多播地址到以太网地址	51
3.6	泛播 IPv6 地址	52
3.7	主机的 IPv6 地址	53
3.8	路由器的 IPv6 地址	53
3.9	IPv6 地址空间的子网划分	54
3.9.1	第 1 步：决定用于子网划分的位数	54
3.9.2	第 2 步：列举子网划分后的新地址前缀	55
3.10	IPv6 接口标识符	58
3.10.1	基于 EUI-64 地址的接口标识符	59
3.10.2	临时地址接口标识符	62
3.11	IPv4 地址和 IPv6 等价地址	63
3.12	参考资料	64
3.13	理解测试	64

第 4 章 IPv6 报头	66
4.1 IPv6 包的结构	66
4.2 IPv4 报头	67
4.3 IPv6 报头	68
4.3.1 下一个报头字段的值	70
4.3.2 比较 IPv4 和 IPv6 报头	70
4.4 IPv6 扩展报头	72
4.4.1 扩展报头的顺序	73
4.4.2 逐跳选项报头	74
4.4.3 目标选项报头	77
4.4.4 路由报头	78
4.4.5 片段报头	80
4.4.6 身份验证报头	83
4.4.7 封装安全有效负载报头和报尾	83
4.5 IPv6 MTU	83
4.6 上层协议校验和	84
4.7 参考资料	85
4.8 理解测试	85
第 5 章 ICMPv6	86
5.1 ICMPv6 概述	86
5.1.1 ICMPv6 报文的类型	87
5.1.2 ICMPv6 报头	87
5.2 ICMPv6 错误报文	87
5.2.1 目标不可到达	88
5.2.2 包过长	89
5.2.3 超时	90
5.2.4 参数问题	90
5.3 ICMPv6 信息报文	91
5.3.1 回送请求	91
5.3.2 回送应答	92
5.4 比较 ICMPv4 和 ICMPv6 报文	93
5.5 路径 MTU 发现	94
5.6 参考资料	95
5.7 理解测试	95

第 6 章 邻节点发现	97
6.1 邻节点发现的概述	97
6.2 邻节点发现报文的格式	98
6.3 邻节点发现选项	99
6.3.1 源和目标的链路层地址选项	99
6.3.2 前缀信息选项	100
6.3.3 重定向报头选项	103
6.3.4 MTU 选项	104
6.3.5 路由信息选项	105
6.4 邻节点发现报文	107
6.4.1 路由器请求	107
6.4.2 路由器公告	108
6.4.3 邻节点请求	111
6.4.4 邻节点公告	112
6.4.5 重定向	114
6.4.6 邻节点发现报文和选项小结	115
6.5 邻节点发现过程	115
6.5.1 概念主机数据结构	115
6.5.2 地址解析	117
6.5.3 邻节点不可达性检测	119
6.5.4 重复地址检测	122
6.5.5 路由器发现	125
6.5.6 重定向功能	129
6.6 主机发送算法	131
6.7 IPv4 邻节点报文和功能以及等价的 IPv6 报文和功能	133
6.8 参考资料	133
6.9 理解测试	133
第 7 章 多播侦听发现和 MLD 版本 2	135
7.1 MLD 和 MLDv2 概述	135
7.2 IPv6 多播概述	135
7.2.1 主机对于多播的支持	136
7.2.2 路由器对多播的支持	137
7.3 MLD 数据包结构	139
7.4 MLD 报文	139

7.4.1 多播侦听查询	140
7.4.2 多播侦听报告	141
7.4.3 多播侦听已完成	142
7.5 MLD 小结	143
7.6 MLDv2 数据包结构	143
7.7 MLDv2 报文	144
7.7.1 修改过的多播侦听查询	144
7.7.2 MLDv2 多播侦听报告	145
7.8 MLDv2 小结	148
7.9 Windows Server 2008 和 Windows Vista 对 MLD 和 MLDv2 的支持	148
7.10 参考资料	148
7.11 理解测试	149
第 8 章 地址自动配置	150
8.1 地址自动配置的概述	150
8.1.1 自动配置的类型	150
8.1.2 自动配置地址的状态	151
8.2 自动配置过程	152
8.3 DHCPv6	154
8.3.1 DHCPv6 报文	155
8.3.2 DHCPv6 有状态报文交换	157
8.3.3 DHCPv6 无状态报文交换	157
8.3.4 Windows 对 DHCPv6 的支持	158
8.4 Windows Server 2008 和 Windows Vista 中 IPv6 协议的自动配置特点	161
8.5 参考资料	163
8.6 理解测试	163
第 9 章 IPv6 和名称解析	164
9.1 IPv6 的名称解析	164
9.1.1 IPv6 DNS 的改进	164
9.1.2 LLMNR	165
9.2 源和目标地址的选择	167
9.2.1 源地址选择算法	168
9.2.2 目标地址选择算法	170
9.2.3 使用地址选择的示例	171