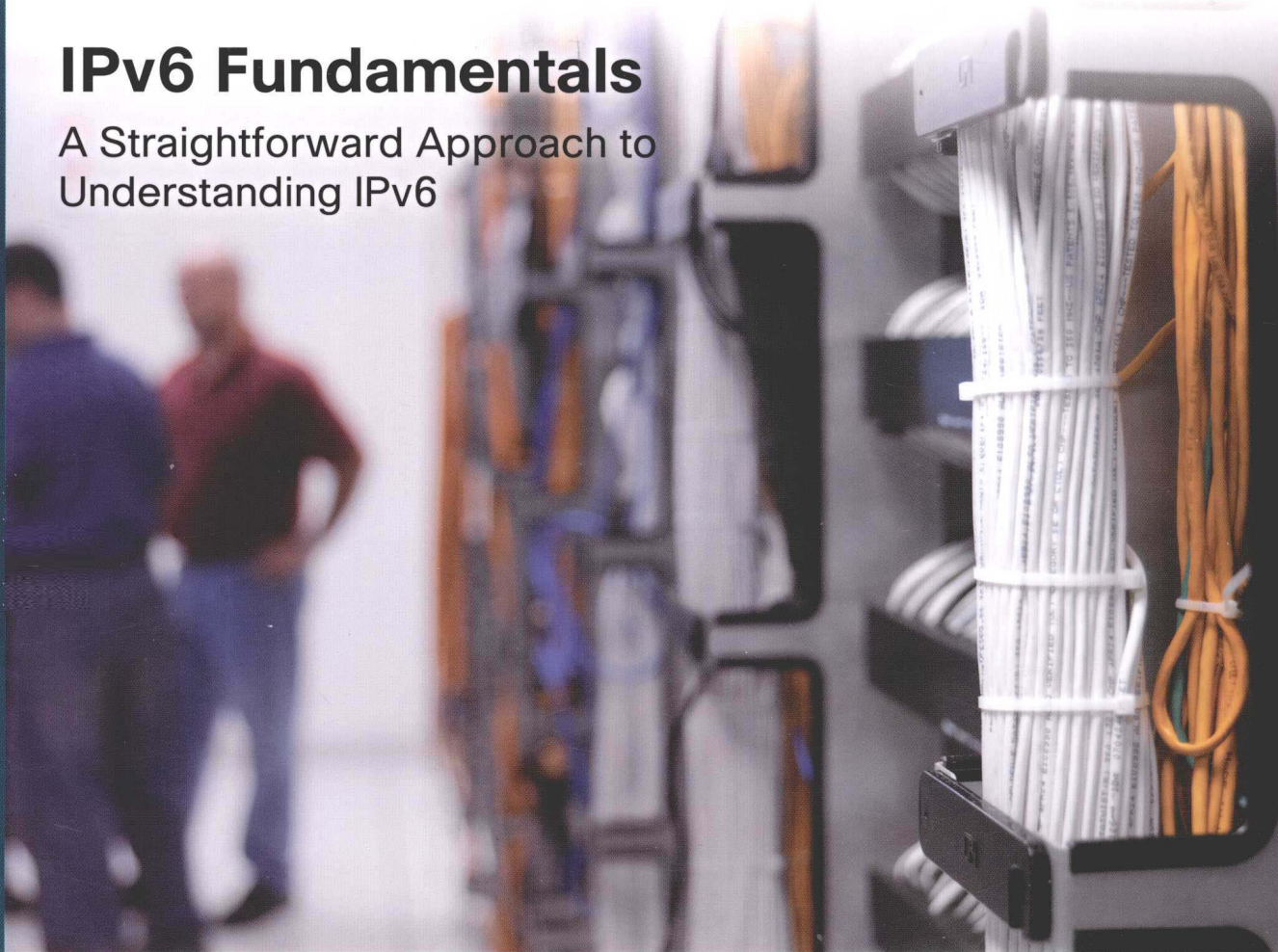


IPv6技术精要

IPv6 Fundamentals

A Straightforward Approach to
Understanding IPv6



ciscopress.com

IPv6技术精要

IPv6 Fundamentals

A Straightforward Approach to
Understanding IPv6

[美] Rick Graziani 著
夏俊杰 译

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

IPv6技术精要 / (美) 格拉齐亚尼 (Graziani, R.)
著; 夏俊杰译. -- 北京: 人民邮电出版社, 2013.5
ISBN 978-7-115-31310-2

I. ①I… II. ①格… ②夏… III. ①计算机网络—通
信协议 IV. ①TN915.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第049358号

版 权 声 明

IPv6 Fundamentals: A Straightforward Approach to Understanding IPv6 (ISBN: 978-1587143137)
Copyright © 2013 Pearson Education, Inc.
Authorized translation from the English language edition published by Cisco Press.
All rights reserved.

本书中文简体字版由美国 Cisco Press 授权人民邮电出版社出版。未经出版者书面许可, 对本书任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有, 侵权必究。

IPv6 技术精要

-
- ◆ 著 [美] Rick Graziani
 - 译 夏俊杰
 - 责任编辑 傅道坤
 - ◆ 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 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京鑫正大印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 800×1000 1/16
印张: 23.5
字数: 473千字 2013年5月第1版
印数: 1-3000册 2013年5月北京第1次印刷

著作权合同登记号 图字: 01-2012-7069号

ISBN 978-7-115-31310-2

定价: 69.00元

读者服务热线: (010)67132692 印装质量热线: (010)67129223

反盗版热线: (010)67171154

广告经营许可证: 京崇工商广字第0021号

内容提要

本书从 IP 的发展以及 IPv4 的不足入手,全面阐述了 IPv6 的各种基本知识,包括 IPv6 编址、ICMPv6 与邻居发现协议、IPv6 路由、DHCPv6 等内容,并详细讨论了包括双栈、隧道、转换在内的各种 IPv4 向 IPv6 迁移的过渡技术。为便于读者深入掌握各章所学知识,本书通过大量实用案例详细阐述了 IPv6 地址以及各种 IPv6 协议与进程的 Cisco IOS 配置信息和配置命令,对于理解 IPv6 以及从 IPv4 向 IPv6 迁移提供了非常有用的参考内容。受篇幅限制,本书没有过多地去描述 IPv4 的相关内容,只是对 IPv6 与 IPv4 相关知识点进行了分析和对比,因而读者应具备基本的 IPv4 基础知识。

本书适用于任何希望学习 IPv6 基础知识的读者,包括所有从事网络架构和网络设计工作的专业人士以及广大网络专业的在校学生。

译者序

随着 IANA 将最后 5 个地址块分配给 5 大 RIR，其主地址池于 2011 年 2 月 3 日已正式宣告耗尽。世界各国范围内的 IPv4 地址枯竭问题已真真切切地摆到了大家面前，特别是中国互联网在经过十几年的快速发展之后，步入了一个崭新的发展天地，网民数早已跃居世界第一。互联网在中国也得到无所不在的广泛应用，互联网在带给大家便利的同时，也让几乎所有的人都无法离开互联网。因此，大家不得不正视 IPv4 向 IPv6 过渡的问题，虽然近些年关于 IPv6 试验或试商用部署的消息不时见诸报端，但业界对 IPv6 的认识却始终未能统一，包括运营商在内的 ISP 很少能真正意识到问题的迫切性和严重性。可喜的是，我国政府很早就认识到这一点，特别是 2012 年开始全面启动我国下一代互联网商用建设工程，并提出了明确的发展目标，计划在 2014~2015 年进入 IPv6 的全面商用阶段。

不过，向 IPv6 的发展演进是一个长期而复杂的进程，涉及互联网产业链的方方面面。由于 IPv6 仍然处于发展变化之中，很多技术还不成熟，再加上因陌生而产生的排斥感，使得大家对 IPv6 还存在着各种各样的疑惑或顾虑。因此相关网络技术人员应提前做好向 IPv6 过渡的技术储备，尽早熟悉 IPv6，尽早制定并测试本公司的 IPv6 迁移方案。

本书作者是互联网领域的资深专家，长期从事 IPv6 等相关领域的咨询和教育工作，具有丰富的实践经验，写作内容精炼实用，涵盖了包括编址、路由、过渡技术等在内的所有 IPv6 基础知识，并提供了大量有益的配置实例。本书不但便于读者学习理解，而且也极具实际参考价值。译者在翻译过程中收获良多，相信本书也一定能够为广大网络工程师提供大量有益信息和最佳实践。

在本书翻译过程中，得到了家人、朋友和编辑的无私支持与帮助，在此表示衷心感谢。本书内容涉及面广，虽然在翻译过程中为了尽量准确表达作者原意，特别是某些专有名词术语的译法，译者在多年网络通信工程经验的基础上，查阅了大量的相关书籍及标准规范，但由于时间仓促，加之译者水平有限，译文中仍难免有不当之处，敬请广大读者批评指正。

夏俊杰

关于作者

Rick Graziani 在美国加利福尼亚州阿普托斯市的卡布利洛学院教授计算机科学和计算机网络课程。在此之前，他曾经在 SCO 公司、天腾电脑公司、洛克希德导弹和太空公司从事信息技术领域方面的工作。Rick 获得了加利福尼亚州立大学蒙特雷湾分校的计算机科学与系统理论的硕士学位，此外，Rick 还为 Cisco 公司提供咨询服务。在工作之余，Rick 通常都在其最喜欢的圣克鲁斯冲浪区享受冲浪带来的无穷乐趣。

关于技术审稿人

Jim Bailey, CCIE #5275 (路由&交换、服务提供商), CCDE #20090008, 是 Cisco 公司的服务技术负责人，拥有 20 多年的网络工作经验。作为中央工程网络架构与设计高级服务团队的一员，Jim 专注于企业、服务提供商以及政府客户的网络体系架构、网络设计与网络实施等领域。在过去的 7 年里，Jim 一直致力于如何更好地将 IPv6 集成到这些网络中。

Yenu Gobena 不但是 Cisco 公司无边界网络架构与设计领域负责战略方向的杰出服务工程师，而且还是将多项 Cisco 体系架构（如 BYOD、VDI/VXI、IPv6）融合到核心基础设施与数据中心的主要传播者和咨询者。Yenu 还致力于为全球范围内领先的 IPv6 先行者提供咨询与设计服务，拥有非常丰富的 IPv6 客户交付与研讨经验，还赢得了全球范围内几十家客户值得信赖的顾问角色，是 Cisco 在全球 IPv6 核心领域至关重要的行业发言人与代表。Yenu 在北卡罗莱纳州罗利市的三角研究园 (Research Triangle Park) 工作，研究兴趣广泛，包括路由和交换、MPLS、SP 移动性、IPv6 体系架构与设计、企业与 SP NGN 体系结构等。Yenu 拥有纽约州立大学的电信学士学位。他的两个孩子名叫 Amara 和 Elena，妻子是 Molly。此外，Yenu 还拥有 CCIE 认证，发表了多本白皮书，而且还是 IPv6 论坛认证的金牌培训师。

献辞

本书献给我的父母，感谢他们一直以来给予我的无私的爱与支持。

致谢

首先感谢我的朋友和同事们的全力支持。特别要感谢周四晚上 DPS (Dropped Packet Society) 社团的所有朋友，感谢你们在“会议”期间及以后所给予的无私帮助，这里需要感谢的人很多，特别要感谢 Mark Boolootian、Dave Barnett 和 Jim Warner，感谢你们这些年来的技术探讨与解惑答疑，我们曾经在餐巾纸上涂画了无数个拓扑结构。

Jim Bailey 在 Cisco 公司所获得的荣誉远远超过了作为本书技术审稿人的简短评价，他使我变得更加聪明。为了保证本书的准确性和时效性，Jim 付出了巨大的精力。他的经验和知识背景对我编写本书是不可估量的财富，是本书当之无愧的幕后英雄，感谢 Jim 所做出的惊人工作。

感谢 Cisco 公司的 Yenu Gobena 对本书做的技术审稿工作，使得本书更加准确，从而大大提升了本书读者的阅读体验。

对于 Gerlinde Brady、Sue Nerton 和 Jim Griffin 的友谊与支持，我心存感激。当我致力于本书写作之时，是你们的努力才让卡布利洛学院的 CS/CIS 部门始终保持平稳运行。我为能够与你们以及 CS/CIS 部门的其他同仁共事而倍感欣慰。

写作本书让我享受了很多特权，因为是 Dennis Frezzo、Jeremy Creech、Karen Alderson、Sonya Stott、Wayne Lewis、Bob Vachon 以及其他许多在思科网络学院工作的人们，给了我参与此项工作的机会与荣誉，参与到改变世界范围内的学员生活的工作当中。你们不仅是我的同事，更是值得我尊敬的朋友。

感谢 Pat Farley 让我仍然能够继续我的冲浪课程，对于热爱冲浪的人来说，其重要性不言而喻。

特别感谢 Cisco Press 的执行编辑 Mary Beth Ray。感谢你在本书漫长成稿期间的耐心与理解，你总是给予我沉着的保证与指导，而且还是一名非常了不起的舞者。

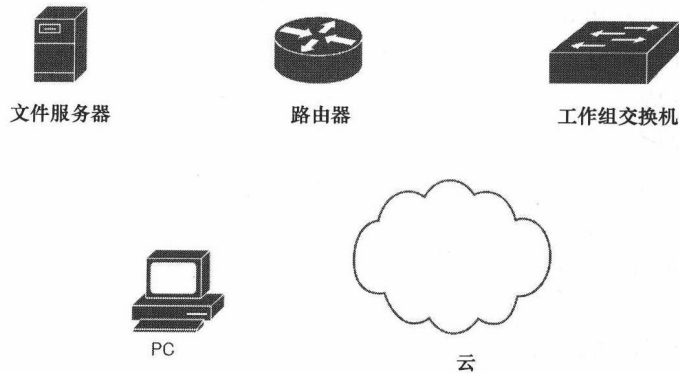
感谢 Cisco Press 的 Marianne Bartow，感谢你在本书出版过程中每天（包括周末）与我一起编辑、排版和策划。你每天都是那么愉快地工作着，非常感谢你为本书付出的努力工作，也让我觉得自己似乎的确是一个好作者。

感谢 Cisco Press 的 Chris Cleveland、Mandie Frank、John Edwards、Tim Wright、Mark Shirar、Sandra Schroeder 等诸位同仁。感谢你们为我做出的一切，我常常惊诧于写作一本技术书籍过程中所呈现出的合作与团队精神，感谢你们给予我的无私帮助。

感谢 Luigi，每天清晨都将我从睡梦中叫醒去沿着海边散步，这让我们俩都受益匪浅。真是我的好狗狗！

最后，我希望感谢我所有的学生，让我有机会去教授如此优秀的你们，而且让我的工作充满乐趣，让我有理由热爱我每一天的工作。

本书使用的图标



命令语法约定

本书命令语法遵循的惯例与 IOS 命令手册使用的惯例相同。命令手册对这些惯例的描述如下。

- **粗体字**表示照原样输入的命令和关键字，在实际的设置和输出（非常规命令语法）中，粗体字表示命令由用户手动输入（如 **show** 命令）。
- *斜体字*表示用户应提供的具体值参数。
- 竖线 (|) 用于分隔可选的、互斥的选项。
- 方括号 ([]) 表示任选项。
- 花括号 ({}) 表示必选项。
- 方括号中的花括号 ([{}]) 表示必须在任选项中选择一个。

前言

本书主要讨论 IPv6 的基础知识。IPv6 需要学习的东西很多，而不仅仅是拥有更大的地址空间。

写作本书时，我尽量以一种简单的、步骤式的方法来解释每一个概念，同时将关键细节包含在其中。既要向读者展示尽可能多的信息，又不至于让读者迎难而上，这是写作本书时的一大挑战。虽然 IPv6 并不难学，但毕竟包含了很多新协议和新进程。

大家不要被本书的细节信息所迷惑。例如，虽然我在本书中概要列出了各类协议的所有字段信息，但并不需要大家完全理解并掌握所有细节信息，这一点我已经在书中时时提到。我这样做的目的是认为不应该向读者遗漏或隐藏某些细节信息。

本书自始至终都在引用 RFC，将 RFC 作为重要参考的原因有二：首先，希望为广大读者提供权威的参考文件，以便能够获得更详细的有用信息；其次，IPv6 在相当长的时期内，始终处于发展变化之中。虽然 IPv6 已经出现了很多年，但是各种额外的开发和微调工作始终都在进行，如果大家对阅读 RFC 还不熟悉，那么也完全不必担心，因为大多数 RFC 阅读起来并不复杂，只是在尽力解释各种主题而已。

在介绍某种技术或概念时，我有时会声称“已经超出了本书写作范围”。我觉得大家在全面掌握了 IPv6 基本内容之后，最好再去阅读更高级的主题，因而在书中为感兴趣的读者提供了一些有用的参考资源。

本书的目的是尽可能清楚地解释 IPv6，因此有时我也很纠结，总在尽力决定应该在书中涵盖哪些主题。

欢迎广大读者使用我主页 (www.cabrillo.edu/~rgraziani) 上的 IPv6、CCNA 和 CCNP 资源，可以给我发电子邮件 (graziani@cabrillo.edu) 以获取上述资源的用户名和密码。

目标和方法

本书最重要的目标就是以一种易于理解的方式让广大读者全面掌握 IPv6 的主要内容。本书也希望为广大读者构筑坚实的 IPv6 基础，因而在书中列出了一些不易掌握的主题。

本书的另一个目标是希望成为 IPv6 的资源索引，因而在书中列出了大量命令语法、RFC 以及 Cisco 白皮书的链接，以方便广大读者进一步学习相关主题的知识。

本书阅读对象

本书适用于任何希望学习 IPv6 基础知识的读者，包括网络工程师、网络设计人员、网络技术人员、技术部门的员工以及网络专业的学生（思科网络学院的学生在内），读者应该熟悉难度相当于 CCNA 认证或思科网络学院课程的基本的 IPv4 与 IPv4 路由协议。

本书对于那些希望使用 Cisco 技术部署 IPv6 网络、提供 IPv6 连接以及在网络中使用 IPv6 的专业规划人员也能提供非常有用的参考内容。大家可以在书中找到配置 Cisco IOS IPv6 技术的大量案例、拓扑图以及 IOS 命令。

本书组织方式

如果从未学习过 IPv6，那么就应该从头至尾阅读本书。如果已经具备了一定的 IPv6 知识，那么就可以在本书的各个章节之间灵活地选择相关感兴趣的专题。

第 1 章到第 5 章介绍了 IPv6 的基本协议、编址类型和 ICMPv6 邻居发现协议，同时列出了一些 Cisco IOS 命令和配置案例。第 6 章到第 9 章通过一个通用示例拓扑解释了 IPv6 编址与 IPv6 路由协议的相关知识，此外，还讨论了 DHCPv6 及其他上层协议。最后两章（第 10 章和第 11 章）则讨论了从 IPv4 向 IPv6 迁移的过渡技术。如果希望通读全书，那么上述章节顺序就非常合适。

下面列出了本书各章的主要内容以及相应的组织方式。

• **第 1 章“IPv6 概述”**：本章讨论当今的互联网为何需要一种新的网络层协议（IPv6）来满足其用户的发展需求。本章首先分析了 IPv4 的一些局限性，描述了 IPv6 在提供各种优势的同时是如何解决这些局限性的。此外，还讨论了 IPv6 的基本原理以及与 IPv4 地址耗尽相关的问题，列出了 IPv4 和 IPv6 的发展简史，并讨论了包括 CIDR 和 NAT 在内的 IPv4 迁移技术。

• **第 2 章“IPv6 协议”**：本章讨论 IPv6 协议及其字段信息。本章首先回顾了 IPv4 协议并与 IPv6 做了详细对比，此外还讨论了分段的处理方式以及 IPv6 扩展报头等内容。

• **第 3 章“IPv6 编址”**：本章讨论 IPv6 编址与地址类型。本章首先解释了十六进制编号系统，讨论了 IPv6 地址表达形式、各种不同的 IPv6 地址格式以及 IPv6 压缩格式的规则等内容。本章概要性地描述了各种类型的 IPv6 地址，并讨论了 IPv6 地址的子网划分问题，包括在半字节边界划分子网和半字节内部划分子网。

• **第 4 章“IPv6 地址类型”**：本章详细讨论各种类型的 IPv6 地址。本章描述了全局单播地址的配置方法（包括手工配置和动态配置），解释了如何利用静态、EUI-64、IPv6 无编号、SLAAC（Stateless Address Autoconfiguration，无状态地址自动配置）和 DHCPv6

(有关 SLAAC 和 DHCPv6 的详细内容将在后续章节进行讨论)等配置方式在路由器接口上启用 IPv6, 以具体的静态和动态 IOS 配置示例描述了链路本地地址的配置方式, 并讨论了环回地址和未指定单播地址。最后, 还讨论了已分配的多播地址、请求节点多播地址和任播地址等内容。

• **第 5 章 “ICMPv6 与邻居发现协议”**: 本章讨论 ICMPv6。虽然 ICMPv6 与 ICMPv4 很相似, 但是 ICMPv6 是一种更健壮的协议。本章首先讨论了 ICMPv6 差错消息, 包括目的地不可达、数据包超大、超时以及参数问题, 然后讨论了 ICMPv6 通知消息 (包括回显请求消息和回显应答消息) 和多播侦听发现消息, 接下来详细讨论了邻居发现协议、路由器请求消息、路由器宣告消息、邻居请求消息、邻居发现消息和重定向消息。IPv6 不仅解决了更大地址空间的问题, 而且 ICMPv6 与邻居发现协议也在网络运行中做出了非常大的变动, 包括链路层地址解析 (IPv4 中的 ARP)、DAD (Duplicate Address Detection, 重复地址检查)、SLAAC 以及 NUD (Neighbor Unreachability Detection, 邻居不可达性检测), 最后, 本章还讨论了 IPv6 邻居缓存表和邻居缓存表状态 (类似于 IPv4 ARP 缓存表)。

• **第 6 章 “IPv6 配置”**: 本章通过一个通用示例拓扑结构解释了 IPv6 编址方面的配置。全局单播地址和链路本地地址使用了不同选项进行配置。此外, 本章还给出了邻居缓存表以及修改路由器宣告消息以调节邻居发现参数的配置案例, 并以相同的拓扑结构为例解释了 IPv6 访问控制列表的配置。

• **第 7 章 “IPv6 路由概述”**: 本章讨论 IPv6 路由表以及与 IPv6 相关的配置变化。此外, 还讨论了与 IPv4 静态路由相似的 IPv6 静态路由的配置以及 IPv6 CEF 等内容。

• **第 8 章 “IPv6 IGP 路由协议”**: 本章讨论包括 RIPng、IPv6 EIGRP 和 OSPFv3 在内的三种路由协议。本章分析了这些路由协议与其 IPv4 对等协议之间的区别, 并通过通用示例拓扑结构解释了每种路由协议的配置与验证情况。

• **第 9 章 “DHCPv6”**: 本章讨论 DHCPv6, 包括状态化 DHCPv6 和无状态 DHCPv6 服务。本章解释了 DHCPv6 术语和消息类型, 并讨论了客户端与服务器之间的 DHCPv6 进程。此外, 本章还讨论快速分配选项和中继代理等内容, 并在最后简要讨论了 DNS、TCP 和 UDP 等上层协议。

• **第 10 章 “双栈与隧道”**: 本章讨论 IPv4 向 IPv6 迁移与共存阶段的三大机制中的两种机制: 双栈机制与隧道机制。双栈用于同时部署 IPv4 协议和 IPv6 协议的设备, 可以让这两种协议共存于同一个网络中, 而隧道机制则是将 IP 包封装到另一个 IP 包中。本章讨论了基本的隧道概念, 并解释了包括手工隧道、6to4 隧道和 ISATAP 隧道在内的常见隧道技术的配置情况。

• **第 11 章 “NAT64”**: 本章讨论了 IPv4 向 IPv6 迁移与共存阶段的第三种机制: NAT64。与 IPv4 NAT 相似, IPv6 NAT 也是在 IPv4 协议与 IPv6 协议之间进行转换。NAT64 是 NAT-PT 的替代技术, 为了保持较新的 NAT64 技术与目前仍然在用的技术之间的连续性, 本章也讨论了 NAT-PT 技术。

目录

第 1 章 IPv6 概述	1	2.6 本章小结	43
1.1 IPv4	1	2.7 参考文献	44
1.2 早期的互联网	2	第 3 章 IPv6 编址	45
1.3 IPv5	5	3.1 十六进制编号系统	45
1.4 IPv6 的历史	5	3.2 IPv6 地址表示形式	47
1.5 IPv6 的优点	7	3.2.1 规则 1: 省略前导 0	49
1.6 IPv6: 何时部署	8	3.2.2 规则 2: 省略全 0	50
1.7 IPv4 地址耗尽	9	3.2.3 同时运用规则 1 和规则 2	51
1.7.1 CIDR	10	3.3 前缀标记	53
1.7.2 NAT 和私有地址	11	3.4 IPv6 地址类型概述	55
1.7.3 IPv4 地址空间耗尽	14	3.4.1 单播地址	55
1.8 IPv6 的迁移	16	3.4.2 任播地址	56
1.9 本章小结	17	3.4.3 多播地址	56
1.10 参考文献	18	3.5 全局单播地址的结构	56
第 2 章 IPv6 协议	21	3.5.1 全局路由前缀	57
2.1 IPv4 报头	21	3.5.2 子网 ID	57
2.2 IPv6 报头	24	3.5.3 接口 ID	57
2.3 Wireshark 报文分析	28	3.5.4 3-1-4 法则	58
2.4 扩展报头	30	3.6 合在一起	59
2.4.1 逐跳选项扩展报头	32	3.7 子网划分	62
2.4.2 路由扩展报头	34	3.7.1 扩展子网前缀	64
2.4.3 分段扩展报头	35	3.7.2 在半字节边界划分子网	65
2.4.4 IPSec: AH 和 ESP		3.7.3 在半字节内划分子网	66
扩展报头	36	3.7.4 限制接口 ID 空间	68
2.4.5 ESP 扩展报头	37	3.8 本章小结	68
2.4.6 目的选项扩展报头	40	3.9 参考文献	69
2.4.7 无下一报头	41	第 4 章 IPv6 地址类型	71
2.5 IPv4 与 IPv6 对比	41	4.1 IPv6 地址空间	72
2.5.1 IPv4 与 IPv6 报头对比	41	4.2 单播地址	74
2.5.2 其他差异	42	4.2.1 全局单播地址	74

4.2.2 链路本地单播地址	94	单播地址	176
4.2.3 环回地址	102	6.5 删除 IPv6 地址	178
4.2.4 未指定地址	103	6.6 启用 IPv6 包转发与 ND 路由器 宣告	179
4.2.5 唯一本地地址	104	6.7 邻居缓存表	181
4.2.6 内嵌 IPv4 的地址	106	6.8 调节邻居发现参数	182
4.3 多播地址	109	6.9 最终配置	187
4.3.1 已分配的多播地址	111	6.10 IPv6 访问控制列表	191
4.3.2 请求节点多播地址	113	6.10.1 拒绝从 FACE:CODE 到 CAFE 的访问	192
4.4 任播地址	116	6.10.2 允许本地 Telnet 访问	196
4.5 本章小结	117	6.11 本章小结	197
4.6 参考文献	119	6.11.1 编址命令	198
第 5 章 ICMPv6 与邻居发现协议	121	6.11.2 转发 IPv6 单播包	198
5.1 通用消息格式	122	6.11.3 邻居缓存表	198
5.2 IGMP 差错消息	125	6.11.4 调节邻居发现参数	199
5.2.1 目的地不可达	125	6.11.5 IPv6 ACL	199
5.2.2 数据包超大	126	6.12 参考文献	200
5.2.3 超时	128	第 7 章 IPv6 路由概述	201
5.2.4 参数问题	129	7.1 IPv6 路由表	202
5.3 ICMP 通知消息	129	7.1.1 代码: 直连路由	205
5.3.1 回显请求与回显应答	130	7.1.2 代码: 本地路由	206
5.3.2 多播侦听器发现	135	7.1.3 IPv6 与 IPv4 路由表对比	207
5.4 邻居发现协议	138	7.2 配置 IPv6 静态路由	210
5.4.1 路由器请求消息和路由器 宣告消息	139	7.2.1 修改管理距离	219
5.4.2 邻居请求消息和邻居 宣告消息	147	7.2.2 最终配置与验证	222
5.4.3 重定向消息	162	7.3 IPv6 CEF	224
5.5 本章小结	163	7.4 本章小结	224
5.6 参考文献	165	7.5 参考文献	225
第 6 章 IPv6 配置	167	第 8 章 IPv6 IGP 路由协议	227
6.1 配置全局单播地址	168	8.1 IPv6 RIPng	228
6.2 配置链路本地地址	171	8.1.1 IPv6 RIPng 与 RIP2 对比	229
6.3 ipv6 enable 命令	174	8.1.2 在 Cisco 路由器上配置 RIPng	230
6.4 以 EUI-64 选项配置全局			

8.1.3 验证 RIPng	235		
8.2 IPv6 EIGRP	243		
8.2.1 IPv4 EIGRP 与 IPv6 EIGRP 对比	243		
8.2.2 在 Cisco 路由器上配置 IPv6 EIGRP	244		
8.2.3 验证 IPv6 EIGRP	249		
8.3 OSPFv3	257		
8.3.1 OSPFv2 与 OSPFv3 对比	257		
8.3.2 在 Cisco 路由器上配置 OSPFv3	259		
8.3.3 验证 OSPFv3	263		
8.4 本章小结	268		
8.4.1 RIPng	269		
8.4.2 IPv6 EIGRP	269		
8.4.3 OSPFv3	270		
8.5 参考文献	271		
第 9 章 DHCPv6	273		
9.1 DHCPv6 服务	273		
9.1.1 DHCPv6 术语、多播地址和消息类型	275		
9.1.2 DHCPv6 通信	278		
9.1.3 快速分配选项	285		
9.1.4 中继代理通信	287		
9.2 其他上层协议	289		
9.2.1 DNS	289		
9.2.2 TCP 和 UDP	295		
9.3 本章小结	295		
9.4 参考文献	297		
		第 10 章 双栈与隧道	299
		10.1 双栈	299
		10.1.1 以 URL 语法表示的 IPv6 地址格式	302
		10.1.2 配置双栈网络	302
		10.2 隧道	309
		10.2.1 手工隧道	313
		10.2.2 6to4 隧道	319
		10.2.3 ISATAP	326
		10.2.4 其他隧道技术	332
		10.3 本章小结	333
		10.4 参考文献	334
		第 11 章 NAT64	337
		11.1 NAT64	338
		11.1.1 从纯 IPv6 客户端向纯 IPv4 服务器发送流量	339
		11.1.2 配置	343
		11.1.3 从纯 IPv4 客户端向纯 IPv6 服务器发送流量	345
		11.2 NAT-PT	347
		11.2.1 应用层网关	348
		11.2.2 使用 NAT-PT	350
		11.2.3 静态 NAT-PT	352
		11.2.4 动态 NAT-PT	357
		11.3 其他转换技术	360
		11.4 本章小结	361
		11.5 参考文献	362

第1章 IPv6 概述

IPv6 (Internet Protocol version 6, 因特网协议版本 6) 是 IPv4 的后续版本, 本章将分析当今互联网为何需要一套新的网络层协议来满足其用户的需求, 在分析 IPv4 局限性的基础上, 将讨论 IPv6 如何解决这些局限性并提供了许多其他优势。

1.1 IPv4

IPv4 (Internet Protocol version 4, 互联网协议版本 4) 是目前互联网以及绝大多数网络正在使用的三层协议, 至今已经应用了 30 多年, 早已成为互联网发展演进过程中密不可分的组成部分。IPv4 最初由 RFC 760 定义 (1980 年 1 月), 后来被 RFC 791 (1981 年 9 月) 所取代。

大家能否想象互联网在发展初期的状况呢? 即便是在 20 世纪 90 年代初期, WWW (World Wide Web, 万维网) 出现之后, 当时全球的互联网用户数大约只有 1600 万。而到了 2011 年, 互联网用户数已经突破了 20 亿。考虑到人们通常会同时拥有多台具有上网功能的终端设备 (如智能手机、平板电脑和笔记本电脑), 因而实际的互联网设备数量呈现激增的状态。

有关从 IPv4 向 IPv6 迁移的详细理由将在本章的后面章节中进行讨论, 现在大家需要知道的一点就是, 当前的互联网与 30 年前、10 年前甚至 5 年前的互联网是完全不一样的。如今的互联网已不再仅仅是网页、电子邮件和文件传送, 而是随着移动终端与对等网络的爆炸式增长, 再加上大量具备联网能力的消费产品所带来的潜在影响, 原先的计算机互联网 (Internet of computers) 已逐渐演化成物联网 (Internet of things)。术语物联网是一个不断发展变化的概念, 最初指代的是具有 RFID (Radio-Frequency Identification, 射频识别) 标签并用于识别和分类的日常用品, 目前的概念非常宽泛,

包括智能电网、智慧互连城市、家庭自动化以及自动计算等。

一旦设备之间具备了通信能力，那么这些设备对网络的影响将是非常巨大的。例如，如果日程表显示老板要在第二天开早会，那么该数据会被传送给闹钟，以便能在 10 分钟前触发闹铃并开始为您煮咖啡。在您离开办公室的 5 分钟之前，汽车会自动预热并融化挡风玻璃上的积冰，识别您的驾车计划并及时通知您应该在回家的路上加油。

虽然这些听起来有些遥远，但大家想象一下，如果物品之间能够进行相互通信，那么这些就完全有可能成为现实。具备联网能力的设备可以是电视机、网络摄像头，也可以是关键的汽车引擎部件中的传感器或者是进行医疗诊断时的简易监视器。可以利用具备联网能力的传感器来提醒驾驶员当前的汽车胎压过低，或者能够通过监控中央位置的传感器来测量并实时调整空调系统，以节省能耗，从而节约成本。

本章将在后面的内容中讨论当前 IPv4 地址空间的耗用情况。虽然人们采取了诸如 NAT (Network Address Translation, 网络地址转换) 等技术来延长 IPv4 的地址寿命，但是很明显，我们已经走到了迫切需要一套新的网络层协议的重要关头。有关 NAT 及其对 IPv4 地址空间的节约信息将随后讨论。

1.2 早期的互联网

虽然早期被称为 ARPANET 的互联网起源于 1969 年，但当前互联网中使用的大量协议和技术都是最近的产物。RFC 2235 (Hobbes Internet Timeline) 对互联网在 1957 年至 1997 年之间的早期发展情况作了总结。

- 1957 年：USSR 发射了 Sputnik (第一颗人造地球卫星)。作为回应，美国 DoD (国防部) 发起了 ARPA (Advanced Research Projects Agency, 高级研究计划署) 计划，以便在科技领域建立美国的领先地位。
- 1962 年：Paul Baran 发表了“关于分布式通信网络”的研究论文，这是分组交换网络概念的先驱。
- 1969 年：DoD 发起 ARPANET 以开展网络互连研究。第一个节点 (大型机) 位于 UCLA (University of California Los Angeles, 加州大学洛杉矶分校) 网络测量中心。其余的三个节点分别是 SRI (Stanford Research Institute, 斯坦福研究所)、UCSB (University of California Santa Barbara, 加州大学圣塔芭芭拉分校) 以及犹他大学 (University of Utah)。第一台路由器是 IMP (Information Message Processor, 信息报文处理器)，这是由 BBN (Bolt Beranek and Newman Inc., 贝洛奈克与纽曼公司) 开发的拥有 12KB 内存的 Honeywell 516 迷你计算机。