

● 马 建 等 编著

IPv6 原理

及在移动通信中的应用



 科学出版社
www.sciencep.com

IPv6 原理及在移动通信中的应用

马 建 等 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书内容包括: IPv6 基本原理和特性、从 IPv4 到 IPv6 的演进、移动 IPv6 的基本原理和特性、IPv6 在 3GPP 中的角色、IPv6 在 3G 网中的演变、移动网中关键 IPv6 的应用等, 以及以移动 IPv6 支撑的异类接入网的移动性等。本书的特点在于内容广泛、由浅入深, 是在综合了下一代移动通信和下一代互联网技术发展趋势的基础上编写而成。

本书可作为 IPv6 及移动 IPv6 技术在移动通信应用中的实施和研究的参考书, 既可作为高校移动通信、计算机通信、IT 等专业研究生学习的教材或参考书, 也可作为通信运营商、通信设备生产厂家、互联网服务提供商及管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

IPv6 原理及在移动通信中的应用/马建等编著. —北京: 科学出版社, 2004

ISBN 7-03-013603-9

I. I… II. 马… III. 移动通信-通信协议 IV. TN915.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 053436 号

策划编辑: 吕建忠/责任编辑: 陈砺川

责任印制: 吕春珉/封面设计: 北新华文

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2004 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2004 年 8 月第一次印刷 印张: 20

印数: 1—3 000 字数: 460 000

定价: 39.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

序

进入 21 世纪以来,移动通信取得了重大进展,其用户数量超过了固定电信;同时,互联网的规模也在迅猛扩展,日益趋近固定电信网。这两种信息技术走向融合,从而突破基于有线方式的互联网所受到的时空限制,日渐满足用户随时随地能够接入互联网的要求。随着各种无线接入技术如 GPRS、CDMA、IEEE 802.11 (WLAN)、蓝牙等的相继应用,越来越多的移动设备能够通过无线上网和通信,对永远在线和移动性的支持已成为下一代网络所必须具备的功能。不久的将来,人们会看到移动通信和互联网的融合所带来的各种新的服务、新的商业模式和新的商业机会。

当前,互联网上的内容已经成为人们日常生活和工作的信息及娱乐和其他服务的重要资源,然而,互联网的固有缺陷使其应用受限于地点,要么在办公室,要么在家里。此外,由于互联网规模发展迅猛,IP 地址的需求量不断扩大,正造成 IP 地址的日益紧缺。尽管人们开发出了一些解决方案,例如网络地址转换技术 (NAT),在某种程度上缓解了 IP 地址紧缺问题,但同时也带来了一些其他问题,如端到端的安全、服务及应用等,而且其应用受限于传统的互联网服务模式,即用户对服务器的模式。

人们理想的远景是互联网也将具备移动性。这些移动互联网所提供的服务和应用将不再受限于传统的互联网服务模式,人对人或对等的多媒体服务和应用将成为可能。由于 IPv6 技术本身所具有的一系列特点,诸如巨大的不受限的地址空间、支持移动性、安全性和服务质量、改善路由性能和效率、允许开发很多新的应用、简化了网络节点的管理和维护等,IPv6 技术将为移动通信和互联网的融合及语音和数据的融合提供理想的技术基础。

经过十几年的技术研究、产品开发、标准制定和商业推广,越来越多的设备厂商、研发机构、政府部门和网络运营商都先后开始了研发和实验,并实施相应的计划。日本政府把 IPv6 作为未来通信的一项基础技术,投入巨资,而且从国家的高度制定了向 IPv6 过渡的国家计划。欧洲国家对 IPv6 也非常重视。按照欧盟的 IPv6 推广计划,到 2005 年,将在欧盟建立一个有相当规模的 IPv6 网络。在一些国家如西班牙、法国、英国、德国、瑞士等已经开始实施相关计划。今年,美国政府对 IPv6 的态度开始发生变化,其中一个重要标志性事件就是,美国国防部决定采用 IPv6 作为未来网络的协议,从今年开始要求所有新设计的系统都能支持 IPv6,到 2008 年,所有信息网络系统将全部基于 IPv6。

我国经济发展稳定,互联网和移动通信的发展潜力巨大,IPv6 将为我国信息技术新的腾飞提供难得的发展机遇。我国从 20 世纪 90 年代末起开始对 IPv6 进行研究和实验,特别是诺基亚(中国)投资有限公司与中国教育和科研网的 IPv6 合作计划极大地推动了大学和研究部门的研发和实验,同时提高了业界对 IPv6 技术的认识和重视。我国下一代互联网示范工程(CNGI)今年正式开始。CNGI 项目由包括信息产业部、科学技术部、国家发展和改革委员会以及中国工程院在内的 8 个部委联合发起并经国务院

批准启动。这一项目的实施不仅涉及的资金巨大,更重要的是它表明我国政府对以 IPv6 为基础的下一代网络建设的高度重视与大力支持。根据 CNGI 的规划,我国将在 2005 年底建成一个基本覆盖全国的 IPv6 网络,成为全球最大的 IPv6 网络之一。通过大规模 IPv6 网络建设的部署实施及商用探索,在未来几年内,我国将在下一代网络领域内成为技术领先国家。我国的主要运营商都在积极参与 CNGI 网络建设项目并努力提供相应的应用与服务。运营商的全面参与必将大大加速 IPv6 的商用化进程。CNGI 项目将成为推动我国下一代网络部署及商用化进程的催化剂。国家“863”计划信息技术领域也安排了一系列有关 IPv6 技术的研究课题,力争在关键技术方面有重大突破。

在上述形势下,我国急需培养大量兼备移动通信和互联网两方面技术的人才,虽然许多高等学校都开设了移动通信和互联网方面的课程,但目前国内外能够综合下一代移动通信和下一代互联网这两方面的参考书极少。从本书中可以看到作者多年来从事 IPv6 研究、开发、实验和技术推广的经验,并可以看到作者对未来移动通信的发展趋势和状况的见解。本书从 IPv6 基础知识和应用需求出发,分析了 IPv4 的局限性和传统互联网应用模式,展望了未来移动通信的发展趋势和需求,分析了未来移动互联网的应用模式,阐述了这些变化对 IPv6 的需求,并以此为背景,系统地、全面地介绍了 IPv6 原理、演进策略,以及在移动通信中的作用。

本书的首要特点是先进性与前瞻性。作者在多年从事 IPv6 研究、开发、实验和推广的经验基础上,能结合当前移动通信的发展状况和未来的发展趋势,注重新技术、新概念、新业务、新潮流;其次是全面与系统性。本书从 IP 基本原理入手,从将来的移动通信发展需要出发,全面地介绍与此相关的协议和应用技术,提出了一些具有重要意义的参考解决方案;第三是重点突出,实用性强。本书以下一代移动通信和下一代互联网相结合为背景,重点阐述 IPv6 技术是下一代移动通信和互联网发展的基石,内容简要,图表丰富,理论与实践实例相结合,深入浅出,易于理解和掌握,是一本广大高校移动通信、计算机通信、IT 等专业的师生,以及电信部门的工程技术人员、管理人员和业务人员值得借鉴的参考书。

中国电信集团公司总工程师

中国电信北京研究院院长

韦乐平

2003 年 12 月

前 言

近年来,移动通信发生了重大变革并取得了迅速的发展。同时,互联网的网络规模也不断扩大,这两个目前最成功的信息技术正在走向融合,从而突破基于有线方式的互联网所受到的时空限制,满足用户随时随地能够接入互联网的要求。随着移动计算的日益普及,对互联网设备的移动性支持也变得很重要。大量的移动计算设备如移动电话、笔记本电脑和掌上电脑等,随着价格逐渐被大多数人所接受,而被日益广泛地应用。而各种无线接入技术如 GPRS、WCDMA-IEEE 802.11 无线接入网、蓝牙等的相继应用则使得越来越多的移动设备可以随时随地上网和通信。因此对永远在线和移动性的支持是下一代网络所必须具备的功能。IPv6 技术具有如下特点,它提供了巨大的地址空间,支持移动性、安全性和服务质量,将是现代信息技术发展的基石,对国民经济起着巨大的推动作用,将提供我国难得的发展机遇。特别是我国经济发展稳定,互联网和移动通信的发展潜力巨大,而我国互联网发展较晚,所能分配的 IPv4 地址空间有限,对将来我国互联网和移动通信的发展起到了阻碍作用。

作者多年在诺基亚(中国)投资有限公司从事 IPv6 技术和标准的研究、开发、实验和技术推广,在此经验基础上,结合目前移动通信的发展趋势和状况总结编写而成此书。本书从 IPv6 基础知识和应用需求出发,分析了 IPv4 和传统互联网应用模式的局限性,展望了未来移动通信的发展趋势和需求,分析了未来移动互联网应用模式,阐述了这些变化对 IPv6 的需求,并以此为背景,系统地、全面地介绍了 IPv6 原理,演进策略,以及在移动通信中的作用。主要内容包括:IPv6 基本原理和特性,从 IPv4 到 IPv6 演进,移动 IPv6 基本原理和特性,IPv6 在 3GPP 中的角色,IPv6 在 3G 网中的演变,移动网中关键 IPv6 应用,以及以移动 IPv6 为支撑的异类接入网的移动性等。本书注重综合下一代移动通信和下一代互联网两方面的发展趋势和技术的联系,特别注重先进性与前瞻性,侧重介绍新概念,新业务,新潮流;具有全面性与系统性,从 IP 基本原理入手,从将来移动通信需要出发,全面地介绍与此相关的协议和应用技术,提出了一些具有重要意义的参考解决方案。

本书第 1 章和第 6 章由姜吕良编写,第 2 章由赵锴编写,第 3 章由李春安编写,第 4 章由王浩编写,第 5 章和第 7 章由黄晖编写,第 8 章和第 10 章由阚志刚编写,第 9 章由马建编写。

鉴于时间仓促,作者水平有限,也鉴于目前移动通信技术和 IPv6 技术与标准的不断发展,因此本书难免有疏漏甚至不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 IPv6 的产生和发展	1
1.1 引言	1
1.2 互联网的历史和发展	1
1.2.1 互联网的历史	1
1.2.2 互联网协议	2
1.2.3 互联网相关组织	4
1.3 IPv6 的历史与实施	5
1.3.1 IPv6 的起源	5
1.3.2 IPv6 的现状	8
1.4 IPv4 的局限性	12
1.4.1 地址问题	12
1.4.2 安全性	14
1.4.3 服务质量	15
1.4.4 即插即用与易管理性	15
1.4.5 移动性	16
1.5 互联网的应用模式	16
1.6 移动通信的发展及其对 IPv6 的需求	17
第 2 章 IPv6 基本原理	19
2.1 概述	19
2.2 IPv6 基本协议	19
2.2.1 IPv6 头格式	19
2.2.2 IPv6 扩展头	20
2.3 IPv6 地址	31
2.3.1 地址模型	32
2.3.2 IPv6 地址的语法	32
2.3.3 地址前缀的语法	33
2.3.4 地址类型表示法	33
2.3.5 单播地址	34
2.3.6 泛播地址	40
2.3.7 组播地址	41
2.4 地址自动配置	43

2.4.1	配置参数	44
2.4.2	地址生成	45
2.4.3	重复地址发现	47
2.4.4	无状态地址配置过程	49
2.4.5	站点重编号	50
2.4.6	配置一致性	51
2.4.7	安全性考虑	51
2.5	路由协议	51
2.5.1	开放最短路径优先	51
2.5.2	支持 IPv6 的 BGP4	57
2.6	小结	63
第 3 章	IPv6 的特点	64
3.1	巨大的地址空间	64
3.2	服务质量	64
3.2.1	IPv6 协议对服务质量的支持	65
3.2.2	区分服务在 IPv6 网络中的具体实现	66
3.3	移动性	68
3.3.1	IPv6 能支持大量的移动用户	68
3.3.2	移动 IPv6 网络中移动管理更为简易有效	69
3.3.3	数据在移动互联网中的传输效率	70
3.3.4	更有效地支持 Ad-Hoc 移动网络	70
3.4	安全性	70
3.4.1	密钥、安全关联和安全机制	71
3.4.2	验证头 (AH)	72
3.4.3	加密的安全有效数据头 (ESP)	74
3.4.4	基于 IPv6 的 IPSec	76
3.4.5	IPv6 安全特点的其他应用	76
3.4.6	层次化地址结构给网络安全带来的好处	78
3.4.7	IPv6 安全的局限性	78
3.5	即插即用	78
3.5.1	主机自动配置	79
3.5.2	路由器自动配置	80
3.5.3	DNS 自动配置	81
3.5.4	服务自动配置	82
3.6	可聚合地址与路由	83
3.6.1	可聚合地址和层次化的结构	83
3.6.2	可聚合的路由	84
3.6.3	中间路由节点选择	85
3.6.4	主机的移动性	85

3.6.5	自动重寻址	85
3.6.6	有助于路由的其他 IPv6 特性	85
3.7	小结	86
第 4 章	从 IPv4 到 IPv6 的演进技术	87
4.1	IPv4 与 IPv6 的协议不兼容性	87
4.1.1	协议格式对比分析	87
4.1.2	无状态 IP/ICMP 协议翻译算法规范 (SIIT) 介绍	89
4.2	IPv6 过渡的要求及技术分类	89
4.3	双栈技术机制族	90
4.4	隧道技术	91
4.4.1	隧道技术原理	91
4.4.2	手工配置隧道	94
4.4.3	兼容地址自动隧道	94
4.4.4	自动隧道的操作	96
4.4.5	6to4 隧道技术	97
4.4.6	6over4 机制	102
4.4.7	隧道代理	104
4.4.8	ISATAP	107
4.4.9	DSTM (双栈过渡机制)	109
4.4.10	BGP 隧道	112
4.4.11	小结	114
4.5	协议翻译技术	114
4.5.1	SIIT 翻译转换机制	114
4.5.2	NAT-PT	122
4.5.3	传输中继转换器	130
4.5.4	堆栈簸筛机制	132
4.5.5	界面簸筛机制	136
4.6	过渡的阶段与场景	141
4.6.1	过渡过程分段	141
4.6.2	各阶段场景描述	141
4.6.3	新应用开发建议	142
第 5 章	移动通信网概述	143
5.1	移动通信技术的发展	143
5.2	第二代移动通信系统及其演化	144
5.2.1	GSM 系统	144
5.2.2	GPRS 系统	149
5.3	第三代移动通信及其关键技术	154
5.3.1	第三代移动通信系统简介	154
5.3.2	WCDMA 网络的体系结构	155

5.3.3	IP 多媒体核心网子系统 (IMS)	157
5.3.4	UMTS 的服务及应用	159
5.3.5	进展现状及前景	160
5.4	移动互联网技术——第三代移动通信与互联网的融合	162
5.5	小结	163
第 6 章	移动增值业务	164
6.1	移动应用的新发展	164
6.2	关键的业务支撑协议及技术	166
6.2.1	AAA 技术	166
6.2.2	SIP	172
6.2.3	XML	176
6.3	移动应用开发平台	182
6.3.1	Symbian	182
6.3.2	J2ME	184
6.4	移动增值业务新领域	186
6.4.1	未来移动业务总要求	186
6.4.2	“推”业务	187
6.4.3	基于位置的应用	188
6.4.4	Peer-to-Peer 应用	188
6.4.5	其他应用举例	190
6.5	小结	191
第 7 章	IPv6 在 3G 移动通信中的实施与演进	192
7.1	UMTS 中的 IPv6	192
7.2	3GPP 数据传输网络结构及协议栈	193
7.3	支持 IPv6 的移动终端	196
7.4	3GPP IMS 网络对 IPv6 的要求	196
7.5	移动终端接入 3GPP 的网络模型	197
7.6	3GPP 网络中对移动终端 IPv6 地址的分配	198
7.6.1	有状态和无状态地址分配	199
7.6.2	透明和非透明的接入模式	199
7.6.3	3GPP 的 IPv6 地址分配方案	201
7.7	3GPP 中的 IPv6 过渡问题	204
7.7.1	3GPP 网络中 IPv6 的过渡方案	204
7.7.2	IPv4 到 IPv6 的过渡阶段	205
7.7.3	3GPP/GPRS 过渡过程及场景	206
7.7.4	过渡场景中过渡方案的使用	209
7.7.5	3GPP 网元中过渡机制的小结	217
7.8	小结	217

第 8 章 移动 IPv6	219
8.1 介绍	219
8.2 移动 IPv6 概述	220
8.2.1 基本操作	220
8.2.2 概念数据结构	222
8.3 新增的 IPv6 协议、消息类型和目的地选项	223
8.3.1 移动报头	223
8.3.2 移动选项	232
8.3.3 家乡地址目的地选项	235
8.3.4 第二类路由报头	236
8.3.5 ICMP 家乡代理地址发现请求	237
8.3.6 ICMP 家乡代理地址发现应答	238
8.3.7 ICMP 移动前缀请求消息格式	239
8.3.8 ICMP 移动前缀通告消息格式	240
8.4 移动 IPv6 安全性综述	240
8.4.1 发向家乡代理的绑定更新	240
8.4.2 发向通信节点的绑定更新	241
8.5 移动 IPv6 中节点的操作过程	247
8.5.1 通信节点的操作	247
8.5.2 家乡代理的操作	250
8.5.3 移动节点的操作	256
8.6 小结	266
第 9 章 移动 IPv6 与多制接入网技术	267
9.1 链路层移动性	269
9.2 GPRS 和 WCDMA 移动网络中的移动 IPv6 服务	271
9.3 多制接入网的需求	273
9.4 3GPP 系统与无线本地 WLAN 的互操作	276
9.4.1 WLAN 网络与 3GPP 的互操作	276
9.4.2 互操作技术	277
9.5 基于 2G/3G 基础架构的 IP 安全技术——SIM6	279
9.5.1 SIM6 机制	279
9.5.2 AAA 协议	280
9.5.3 移动 IPv6 与基于 SIM 的认证一起实现多点接入	281
9.6 小结	284
第 10 章 中国 IPv6 发展状况及前景展望	286
10.1 IPv6 实验网	286
10.1.1 CERNET IPv6 试验床	287
10.1.2 中国科学技术大学 IPv6 示范网	289
10.2 IPv6 的标准化	291

10.2.1	国际 IPv6 协议现状	291
10.2.2	中国 IPv6 协议的制订策略	292
10.2.3	IPv6 协议发展趋势	294
10.2.4	中国 IPv6 互联网“新干线”	294
10.3	IPv6 路由器在中国的发展	295
10.3.1	IPv6 路由器技术概述	295
10.3.2	IPv6 路由器的研发与制造	296
10.3.3	IPv6 路由器的发展	297
10.4	IPv6 技术的发展趋势及发展策略	298
10.4.1	下一代网络与 IPv6	299
10.4.2	IPv6 技术的发展趋势	300
10.4.3	国家通信 863 IPv6 技术的发展策略	302
10.4.4	中国 IPv6 互联网“新干线”	302
10.5	IPv6 面临的挑战	303
10.5.1	IPv6 地址分配管理探讨	303
10.5.2	应用是部署 IPv6 的驱动因素	304
10.5.3	手中的 IPv6	304
10.6	小结	305
主要参考文献		306

第 1 章 IPv6 的产生和发展

1.1 引言

现代通信的发展的最高目标是实现任何时间、任何地点与任何人进行任何通信。目前,人们距离这一目标还有很大的差距。虽然现在的通信技术已经有了长足的进步,但是,目前语音、数据和电视信号分别由电信运营商、互联网运营商和有线电视运营商所控制。他们各有各的运营网络,资源利用比较低,运营成本高。

随着技术的发展,特别是互联网技术的迅速发展,传统电信网络、有线电视网络和计算机网络三网合一变得有可能。所谓的三网合一就是说将来所有的通信、数据及有线电视传输都将在一个网络上传输,这样运营商只需要维护一个网络就可以提供任何业务。运营商的经营成本大大降低,而营业收入则可以因为多种经营业务而增长。对用户来说只需要连到一个网络就可以获取多种服务。要实现三网合一,最根本的技术就是 IP 技术。可以说 IP 技术是未来通信网的基础。

1.2 互联网的历史和发展

1.2.1 互联网的历史

现在的互联网起源于 1969 年美国国防部高级发展研究署 (Advanced Research Project Agency, ARPA) 所建立的 ARPANET (Advanced Research Project Agency Network) 网络。由于当时的国际环境,组成 ARPANET 的链路被认为是不可靠的,因为其中的一些链路可能在战时被破坏。因此研究 ARPANET 的目的是要保证当网络的一部分链路中断时,整个网络仍然可以工作。这种努力的结果是设计出了一个与传统电路交换不同的基于包交换的网络。采用包交换后,两个通信节点间的数据包可以通过不同的路径到达目的地。这样当网络中的一些链路发生故障时,数据包可以选择其他路径,网络通信不会被中断,从而大大增强了网络的生存能力。

对 ARPANET 上的计算机终端来说,当需要向网络发送信息时,只需把数据封装在 IP (Internet Protocol) 包中,并给该包写上正确的“地址”,网络就会把该 IP 包送到目的地。但是通信终端需要自己判断通信是否已经完成,网络只负责传送数据包,不判断通信是否完成。ARPANET 的一个主要目的是要保证连到网上的每台计算机都可以与网上的任何其他计算机进行通信。要达到此目的,一套通信协议是必不可少的。国际标准化组织 (ISO) 一直致力于设计一套协议来实现计算机通信。但是在当时,人们无法等待 ISO 协议,于是纷纷采用 IP 协议来实现计算机通信。后来随着局域网技术的成熟以及 Berkeley UNIX 的发布,很多桌面工作站都采用了 Berkeley UNIX。由于该 UNIX 实现了 IP 协议族,各工作站可以通过局域网直接互连,实现资源共享。很快,这种基于 Berkeley UNIX 互连变得流行开来。这种流行促使人们不仅仅满足于局部几台

机器的互联，而是把整个局域网都连接到 ARPANET 上来，实现更大范围的资源共享。所有连到网上的用户可以与其他任何人进行通信，人人都可以从网络上获得好处。当然这种共享采用的是同一种协议——IP 协议。

谈到互联网的历史，不能不提到 NSFNET，它是由美国自然科学基金（National Science Foundation, NSF）所资助的。20 世纪 80 年代，NSF 在美国为全国的研究人员建立了五个超级计算中心。由于这些超级计算中心十分昂贵，不可能再建立更多的超级计算中心，因此这些超级计算中心是由大家共享的。为了方便其他地方的研究人员使用这些昂贵的超级计算机，NSF 最开始使用 ARPANET 来互连这些计算中心。由于各种原因，NSF 很快发现使用 ARPANET 无法满足需要，于是 NSF 决定从用 ARPANET 的 IP 技术建立自己的网络。

最初这些超级计算中心是通过带宽为 56K 的电话线互连起来。虽然 56K 的速度在当时来说几经不算慢的了，但是如果把所有的大学都连接到计算中心的话，恐怕计算中心也会崩溃。于是，按照区域建立了区域的子网。每个学校可以联到就近的子网中。子网再连接到某个计算中心，而所有的计算中心是连在一起的。按照这种方法，所有的计算机都可以与任何其他计算机进行通信。这种共享超级计算中心的方法，同时还促进了其他数据的共享。各研究所和高校发现相互间需要通过网络来共享很多数据以及进行协同工作。这种需求使得网络流量大大增加，终于控制网络的计算机和组成网络的电话线超载了。于是网络升级为更快的计算机和连接线路升级。这种过载、升级的过程不断重复，从而导致网络带宽不断扩大。同时随着其他国家的一些机构不断加入互联网，整个网络的规模也在不断扩大。可以看出 NSF 对互联网的影响是巨大的，最大的影响应该说在于它使得网络不再像 ARPANET 那样只供特殊机构和人群，如政府机关及其相关研究人员使用，而是任何人都可以使用网络。

到了 20 世纪 90 年代，随着 HTML、WWW 和浏览器的出现，人们可以很方便地通过互联网实现跨平台的数据共享。在任何终端上，只要有一个浏览器，人们就可以获取需要的资料而无需对网络有更多的了解。同时，一些动态页面技术的出现使得原来静态、呆板的页面变得生动、个性起来。WWW 应用的不断发展使得互联网的用户一下呈爆炸方式开始增长。随着用户数量的飞速增长，互联网的商业价值开始体现。互联网开始用于商业用途。越来越多的公司、企业、团体、协会、政府机关、个人都连到网上。这种互连需求同时也导致了对 IP 地址的大量需求，而且这种需求还在加速增加。商业应用反过来又促进了互联网的蓬勃发展。不仅如此，随着无线通信的快速发展，需要将原来的语音与数据网络架构到未来的基于 IP 协议的统一的平台上来，也就是说将来每个手机、每个用户都需要拥有自己的 IP 地址，这更是加大了对 IP 地址的海量需求。同时一些新出现的应用需求对 IP 协议本身也提出了新的需求，如端到端的通信需求、安全的需求、服务质量的需求以及自动配置的需求等。所有这些都要求对目前 IP 协议进行改进。IPv6 是为了解决这些问题而开发的。

1.2.2 互联网协议

前面我们介绍了目前的互联网起源于 ARPANET。在 ARPANET 网络时代，当时的互联网协议包括网络接口层（Network Interface）、互联网层（Internet）、主机到主机

层 (Host-to-Host) 和程序/应用层 (Process/Application), 共计四层。这套协议开发与 20 世纪 70 年代, 与著名的国际标准化组织的开放系统互联参考模型 (Open System Interconnection Reference Model, OSI-RM) 相比, 显得有些简单。其原因在于 OSI-RM 模型是国际标准, 其目的是为了了解决国际间不同计算机系统互联互通操作的问题, 而 ARPA-NET 协议主要解决不同实验室之间、政府组织间的科学、研究等方面的通信需求。两种模型的对比关系如表 1-1 所示。

表 1-1 ARPANET 协议与 OSI-RM 协议对比

ARPANET	OSI-RM
程序/应用层 (Process/Application)	应用层 (Application)
	表示层 (Presentation)
	会话层 (Session)
主机到主机层 (Host-to-Host)	传输层 (Transport)
互联网层 (Internet)	网络层 (Network)
网络接口层 (Network Interface)	数据链路层 (Data Link)
	物理层 (Physical)

从表 1-1 可以看出, ARPANET 协议中第一层是网络接口层, 有时也称为网络接入层 (Network Access Layer) 或本地网络层 (Local Network Layer)。其功能是把主机与本地网络相联。这种相联包括两个意思: 一是使主机与组成网络的电缆物理相联, 二是保证主机能通过电缆以帧的形式收发数据。第二层则是互联网层 (Internet), 这一层负责数据从一台主机传送到另一台主机。在这一层, 数据是以“包” (Packet) 的形式进行传输的。与帧不同的是, 帧包含有网络接口的机器地址, 如以太网里的 MAC 地址等链路地址, 而包里包含有表示该数据包在整个网络中的起始地址和目的地址。这两个地址保证数据被送到正确的主机上, 但是无法保证该数据不会在中途丢失。因此需要主机到主机层。这一层可以确保数据会被传送到目的地址上。程序/应用层 (Process/Appli-

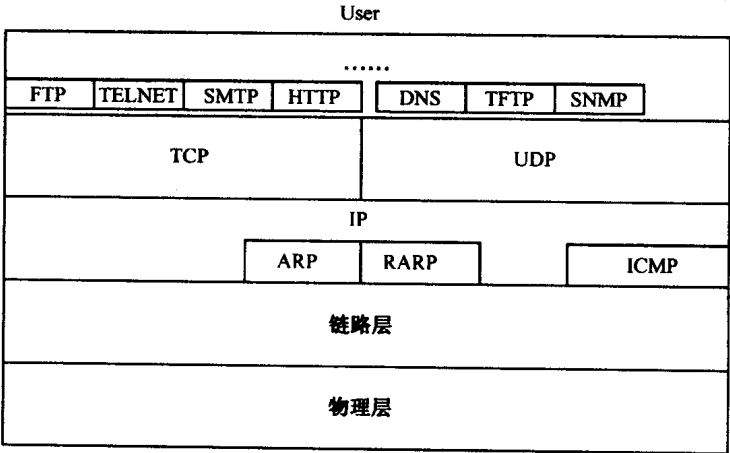


图 1-1 互联网协议结构图

cation) 则提供用户与主机交互的互联网应用界面, 如 TELNET, FTP, EMAIL 等。

目前的互联网协议一般通称为 TCP/IP 协议。从结构上来看是一个五层的协议族, 包括物理层、链路层、网络层、传输层和应用层, 如图 1-1 所示。网络层采用的协议是 IP 协议, 传输层主要是 TCP 和 UDP, 应用层包括 TELNET、FTP、HTTP、NEWS 和 SMTP 等。目前的网络层协议是 IPv4 协议, 即 IP 协议第四版。

1.2.3 互联网相关组织

1. ISOC

互联网的最高管理机构是互联网协会 ISOC (The Internet SOCIety)。ISOC 是一个由专业成员组成的协会, 目前有来自 180 多个国家的 150 个团体成员和 16 000 个个人成员。ISOC 负责解决互联网当前面对的问题和未来发展去向的问题。自 1992 年起, ISOC 成为协调互联网发展、可用性及其相关技术的国际性组织。ISOC 每年都有国际性年会, 即 INET 会议。通过年会和其他一些有赞助的活动 (如为发展中国家主办培训和宣传、市场研究、公共政策、区域章程、标准制定、选举相关委员会和秘书长等), ISOC 为国际互联网提供服务。ISOC 通过这些诸如年会、培训及其他活动, 来不断增强互联网的可用性, 并且最大可能地扩大互联网的使用范围。ISOC 由其成员通过选举产生的理事会领导。

2. IETF

互联网工程任务组 (Internet Engineering Task Force, IETF) 是一个由网络设计者、运营商、设备制造商和研究人员组成的开放的国际性组织。该组织主要关注互联网的结构演进以及平稳运行。任何人也可以以个人身份参加 IETF。

IETF 的具体技术工作由其下属各工作组负责。这些工作组按照各自的技术内容分属几个不同的技术领域 (如路由、传输、安全等)。各工作组的大部分活动通过邮件列表来完成, 但 IETF 每年也举行三次会议。

IETF 各工作组按照各自的技术内容分属几个不同的技术领域 (Area)。每个领域有自己的主任 (Area Director, AD)。AD 同时还是互联网工程指导小组 (Internet Engineering Steering Group, IESG) 的成员。而 IAB 则负责提供架构方面的指导。IAB 还负责处理对 IESG 工作失误的申诉。互联网相关参数, 如各协议的端口号、协议参数定义等数据由 IANA (Internet Assigned Number Authority) 组织负责协调。

3. IAB

IAB 是 IETF 的一个委员会, 其主要职责包括:

- IESG (Internet Architecture Board) 成员确认: IAB 负责确认由 IETF 提名委员会提名的 IETF 主席和 IETF 领域主任的最后任命。
- 结构监管: IAB 对涉及互联网的协议、程序结构方面进行监管和解释。
- 标准化过程监管和上诉: IAB 负责监管新的互联网标准的制订, 同时负责处理因对 IESG 在标准制订过程中的决定不服的上诉。

- RFC 和 IANA: IAB 负责管理互联网标准文件 RFC 的编辑和出版, 同时负责 IETF 协议参数的分配, 具体由 IANA 执行。
- 外部联络: IAB 代表 IETF 与其他关心与互联网相关的标准和其他技术问题的组织进行联络。
- 为 ISOC 提供建议: IAB 为 ISOC 下属的理事会提供与网络相关的技术、结构、过程和策略方面的咨询、建议和指导。
- 任命 IRTF 主席: IAB 负责任命 IRTF 主席, 任期两年。

4. IRTF

互联网研究任务组 (Internet Research Task Force, IRTF) 由一些研究组组成。这些研究组分别研究与互联网协议、应用、结构和技术等方面相关的问题。各研究组成员主要以个人身份参加, 而不是代表某个机构或组织。各成员需要协同工作, 共同研究相关问题。一般, 每个组的成员保持稳定直到该研究组关闭。IRTF 主席在 IRSG 的帮助下领导 IRTF 的工作。IRSG 成员包括各研究组的负责人、IRTF 主席和其他来自研究领域的人士。IRTF 主席由 IAB 任命。IRTF 主席在咨询其他 IRSG 后可以提名新的研究组负责人同时也是 IRSG 的新成员, 但需要得到 IAB 的批准。除了管理各研究组外, IRSG 还时常组织技术研讨会讨论、宣传对互联网变革有重要作用的研究领域。

1.3 IPv6 的历史与实施

1.3.1 IPv6 的起源

20 世纪 90 年代初, 由于互联网的飞速发展, IETF 组织开始意识到 32 比特的网络地址长度已经不能说是足够长的了。互联网将很快面临地址耗尽的危险。设计并开发下一代的互联网协议 IPng (Internet Protocol Next Generation) 开始提上 IETF 的工作日程。

1993 年 IETF 成立了一个专门的部门称为 IPng Area, 负责下一代互联网协议相关事宜。IPng Area 包含若干相互竞争的工作组 (这些工作组独立设计 IPng 建议), 还包含专门研究下一代互联网协议要求的工作组。为了对不同的方案进行公正的评议, IETF 还成立了一个理事会, 负责对所有建议的评议, 其成员为来自业界不同领域的专家, 如来自设备制造商、来自学术届和来自网络运营商等。

1994 年年底 IPng Area 首先发表了下一代互联网协议的技术评议标准, 即 RFC1726。这份技术评议标准讨论了下一代协议的总体原则, 同时也定义 17 条技术评议标准, 作为对下一代互联网协议建议进行评议的标准。这些评议标准如下:

- 规模 (Scale): IPng 的规模应至少支持 10^{12} 个终端系统。IPng 及其路由协议应容纳至少 10^9 个网络。
- 拓扑灵活性 (Topological Flexibility): IPng 的路由协议和路由框架应该能支持不同的网络拓扑, 不能假定网络的物理拓扑是树形的。
- 性能 (Performance): 市场上的新型路由器应该能处理和转发 IPng 数据包, 并且能充分利用市场上常见的、高速的传输媒介。不仅如此, 最低要求是, 主机