



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十二五”

国家重点图书出版规划项目

学术中国·院士系列

未来网络创新技术研究系列

移动互联网 异构接入与融合控制

■ 刘千里 魏子忠 陈量 田永春 于全 编著

Heterogeneous Access and
Convergence Control of Mobile Internet



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



“十二五”
国家重点图书出版规划项目

学术中国·院士系列

未来网络创新技术研究系列

移动互联网 异构接入与融合控制

■ 刘千里 魏子忠 陈磊 王永春 全 编著

Heterogeneous Access and
Convergence Control of Mobile Internet

人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

移动互联网异构接入与融合控制 / 刘千里等编著

— 北京 : 人民邮电出版社, 2015. 12

(学术中国·院士系列·未来网络创新技术研究系列)

ISBN 978-7-115-37811-8

I. ①移… II. ①刘… III. ①移动通信—互联网络

IV. ①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第181590号

内 容 提 要

首先阐述了电信网和互联网两大主要阵营在网络体系结构方面的最新研究进展,系统地描述了一种具有普适性的移动互联网参考模型;其次介绍了蜂窝移动通信系统、无线局域网、移动自组织网络和无线传感器网络等各类异构的无线接入网络;然后重点对SDN、NFV、网络虚拟化、云计算平台以及4G移动网络控制等新兴的网络控制技术进行了阐述;随后分别对链路层垂直切换、名址分离、应用层移动业务支撑等移动性管理技术以及分层、跨层QoS保障技术进行总结分析;最后介绍了无线资源管理、接入策略管理、端到端重配置技术和融合业务管理等异构移动网络的融合管理技术。

本书取材新颖、内容丰富、实用性强,突出基本概念的分析和技术原理的阐述,反映了移动互联网领域网络技术研究最新成果和发展趋势,适合从事移动、无线网络体系设计与研究开发的工程技术人员阅读,也可供高等院校相关专业本科生、研究生以及广大网络通信爱好者参考。

◆ 编 著 刘千里 魏子忠 陈 量 田永春 于 全

责任编辑 代晓丽

执行编辑 刘 琳

责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

三河市中晟雅豪印务有限公司印刷

◆ 开本: 700×1000 1/16

印张: 35

2015年12月第1版

字数: 686千字

2015年12月河北第1次印刷

定价: 128.00元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

1969 年, ARPANET 诞生, 催生人类历史上继蒸汽技术革命、电力技术革命以来, 又一次影响全人类的伟大革命。经过几十年发展, 互联网(Internet)为全球经济发展、技术创新和日常生活带来了革命性的影响。而移动通信作为通信技术领域发展最快的一个分支, 应用越来越普及, 成为人们日常生活的必需品。近年来, 移动通信和互联网相互融合, 形成移动互联网, 催生了前所未有的产业革命、技术革新和应用创新, 全面改变了人类的生活方式, 成为社会生产生活中不可或缺的信息平台。

移动互联网依托各类不同频段、不同制式和组网协议的异构无线网络, 将人们从桌面固定式机器前面解放出来, 为人类提供了前所未有的便利。与此同时, 也带来了通信手段、接入网络、核心网络、终端、业务以及运营商的异构性问题。目前, 存在众多的无线网络技术, 如小范围通信覆盖的 WLAN、ZigBee、蓝牙等, 大地域范围覆盖的 2G、3G、4G 移动通信系统和卫星通信、空基平台通信等, 中等覆盖范围的 WiMAX、WMAN 和移动自组织网络等。如何有效利用这些特性不一、能力差别巨大的异构无线网络, 为用户提供统一、可靠、体验良好的通信服务, 实现在任何地方自由地进行通信这一美好理想, 是业界广大从业人员不懈追求的目标。

作为基础和“底座”, 移动互联网网络对于移动互联网的蓬勃发展至关重要, 本书力图对网络技术进行较全面的剖析和介绍。主要内容安排如下: 第 1 章从互联网、无线移动通信的起源与发展, 谈到移动互联网的兴起, 落脚到移动互联网网络的发展趋势和关键技术; 第 2 章在分析电信网和互联网领域网络体系结构发展的基础上, 分析提出移动互联网网络的主要特征、发展趋势和参考模型; 第 3 章以无线接入网络为主题, 对蜂窝移动通信系统、无线局域网、无线个域网、移动自组织网络、无线传感器网络和认知网络等进行全面介绍; 第 4 章重点介绍移动互联网中新兴的网络控制技术, 包括 SDN、NFV、网络虚拟化、云计算平台、基于应用的网络控制技术以及 4G 移动网络控制等; 第 5 章介绍移动互联网从链路层到应用层对应的移动性管理技术, 包括链路层垂直切换、网络层移动 IPv6 扩

展技术和名址分离、运营商支持的用户移动模式、应用层移动业务支撑、移动定位及 LBS 等技术；第 6 章介绍服务质量保障技术，建立移动互联网的 QoS 保障框架，从网络分层和跨层角度阐述相应的服务质量保障技术，并提出移动互联网异构网络环境下的跨层 QoS 保障体系；第 7 章介绍移动互联网的网络融合管理技术，对网络管理体系架构、无线资源管理、接入策略管理、端到端重配置技术和融合业务管理等进行全面介绍；第 8 章对全书内容进行总结，并对移动互联网异构网络融合的未来发展进行展望。

本书是作者在总结多年无线网络科研工作的经验与成果，并且广泛学习吸收国内外无线网络领域相关成果的基础上编写成稿。本书不追求技术的面面俱到，但求综述网络技术领域的全面发展情况，呈现当前技术的最新研究成果。

中国工程院于全院士负责本书的整体筹划与审稿，刘千里高工编写了第 1~3 章，陈量高工编写了第 4、5 章，魏子忠高工编写了第 6~8 章，田永春研究员编写了第 2、5、6 章的部分内容。中国电科第 54 研究所石振芳研究员、王宏宇高工，中国电科第 30 研究所谢烨高工、刘杰博士，北京邮电大学刘尚博士等参与了资料的收集和部分章节内容的编写，中国电子系统工程公司研究所向东蕾高工、汪李峰高工、王晓东博士、魏胜群博士等同志在书稿写作过程中给予了大量支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢！

移动互联网网络技术所涉及的范围较广，同时也是一个前沿研究领域，技术发展迅猛，加之由于笔者理论水平和研究的局限性，书中难免有疏漏乃至错误之处，作为抛砖引玉之作，敬请读者对本书提出宝贵的意见和建议，以利于作者不断改进，并对推进该领域的研究和发展尽绵薄之力。

作 者

2015 年 5 月

目 录

第1章 引言	1
1.1 互联网的起源与发展	1
1.1.1 互联网的起源	2
1.1.2 互联网的发展演进	3
1.2 无线移动通信的发展	9
1.3 移动互联网的兴起	14
1.4 移动互联网网络的关键技术	18
1.4.1 移动互联网网络的发展趋势	18
1.4.2 移动互联网的关键技术领域	22
1.5 本书内容与章节安排	26
参考文献	27
第2章 网络体系结构	31
2.1 概述	31
2.2 电信网体系结构的发展	32
2.2.1 发展脉络	32
2.2.2 下一代网络	35
2.2.3 环境网络	42
2.2.4 未来网络	44
2.3 互联网体系结构的发展	57
2.3.1 发展脉络	57

2.3.2 面向服务网络架构	58
2.3.3 软件定义网络	60
2.3.4 命名化数据网络	65
2.3.5 移动性优先	73
2.3.6 一体化可信网络与普适服务体系	81
2.4 移动互联网的体系结构	83
2.4.1 网络体系结构的比较分析	83
2.4.2 移动互联网的主要特征	85
2.4.3 移动互联网的参考模型	87
2.4.4 移动互联网的融合途径	91
参考文献	94
第3章 异构无线接入网络	99
3.1 概述	99
3.2 蜂窝移动通信系统	100
3.2.1 LTE 技术	102
3.2.2 5G 移动通信新技术	107
3.3 无线局域网	118
3.3.1 无线局域网的特点	118
3.3.2 无线局域网的协议标准	119
3.3.3 无线局域网的关键技术	121
3.3.4 无线局域网的应用	125
3.4 无线个域网	127
3.4.1 无线个域网的特点	128
3.4.2 无线个域网的关键技术	129
3.4.3 无线个域网的应用	134
3.5 移动自组织网络	135
3.5.1 移动自组织网络的特点	136
3.5.2 移动自组织网络的关键技术	138
3.5.3 移动自组织网络的应用	147
3.6 无线传感器网络	148

3.6.1 无线传感器网络的特点	149
3.6.2 无线传感器网络的关键技术	151
3.6.3 无线传感器网络的应用	162
3.7 认知网络	165
3.7.1 认知网络概述	165
3.7.2 认知无线网络	167
3.7.3 频谱感知技术	169
3.7.4 可用带宽的感知技术	171
参考文献	172
第4章 网络融合控制	177
4.1 概述	177
4.2 融合控制的层次结构	179
4.3 SDN 的控制技术	180
4.3.1 SDN 的基本思想	180
4.3.2 SDN 的优势和挑战	183
4.3.3 OpenFlow 协议	185
4.3.4 SDN 控制器及网络服务	191
4.3.5 基于 SDN 思想设计的 Google B4 网络	198
4.4 NFV 网络控制技术	206
4.4.1 NFV 概述	206
4.4.2 NFV 的技术架构	208
4.4.3 NFV 的用例	213
4.5 网络虚拟化控制技术	216
4.5.1 概述	216
4.5.2 服务器网卡虚拟化	217
4.5.3 虚拟交换机	218
4.5.4 虚拟 Overlay 网络	220
4.5.5 虚拟网络转发实例	222
4.6 云计算/NFV/SDN 网络融合控制	226
4.6.1 云计算平台和网络控制	226

4.6.2 SDN 和 NFV	229
4.7 面向应用的网络控制技术	230
4.7.1 思科 SONA	230
4.7.2 统一通信	232
4.7.3 即时通信控制协议	234
4.8 移动网络控制技术	250
4.8.1 EPC 网络实体功能及选择控制	251
4.8.2 EPS 网络的主要参考点	254
4.8.3 IMS 网络控制及应用扩展	259
4.8.4 用户数据融合控制	265
参考文献	268
第 5 章 移动性管理	273
5.1 概述	273
5.2 移动性管理的层次结构	275
5.3 基于移动 IP 的移动性管理	276
5.3.1 移动 IP 的技术基础	276
5.3.2 移动 IPv6 协议扩展	283
5.3.3 移动 IP 在移动互联网中的应用	290
5.4 基于名址分离的移动性管理	292
5.4.1 名址分离技术	292
5.4.2 名址分离协议	293
5.4.3 一体化网络的名址分离	298
5.4.4 其他名址分离解决方案	302
5.5 移动链路切换管理	304
5.5.1 网络切换概述	304
5.5.2 异构网络选择切换算法	306
5.6 运营商网络切换管理	314
5.6.1 2G/3G 移动网络和 WLAN 移动切换	314
5.6.2 LTE 接入和 WLAN 移动切换	321
5.7 应用层移动支持管理	332

5.7.1 运营商业务的移动支持	332
5.7.2 互联网应用的移动支持	338
5.7.3 基于终端应用的接入切换	339
5.8 移动位置管理	340
5.8.1 运营商移动位置管理	340
5.8.2 3GPP 网络位置服务	342
5.8.3 移动互联网位置服务	344
参考文献	350
第 6 章 服务质量保障	354
6.1 概述	354
6.2 QoS 保障体系	355
6.2.1 影响 QoS 性能的基本参数	356
6.2.2 QoS 等级分类	357
6.2.3 移动互联网 QoS	361
6.3 物理层 QoS 保障机制	362
6.3.1 拥塞控制机制	362
6.3.2 差错控制机制	363
6.3.3 功率控制机制	365
6.4 链路层 QoS 保障机制	367
6.4.1 MAC 协议的 QoS 保障	367
6.4.2 ARQ 技术	369
6.5 网络层 QoS 保障机制	378
6.5.1 MPLS 的网络体系结构	379
6.5.2 MPLS 的技术原理	380
6.5.3 MPLS 与 DiffServ 结合的 QoS 机制研究	383
6.6 传输层 QoS 保障技术	385
6.6.1 RSVP 协议	386
6.6.2 NSIS 协议	387
6.6.3 NSIS 协议和 RSVP 协议的对比	388
6.7 应用层 QoS 保障机制	389

6.7.1	3GPP PCC	389
6.7.2	区分用户和业务的 QoS 控制策略	391
6.7.3	基于 DUS 策略进行的 QoS 管控	396
6.8	跨层 QoS 保障技术	399
6.8.1	同一网络中的 QoS 映射分析	399
6.8.2	异构网络中的 QoS 映射分析	401
6.8.3	异构无线网络通用的 QoS 映射方法	405
6.8.4	仿真验证	412
	参考文献	414
第 7 章	网络融合管理	418
7.1	概述	418
7.2	网络管理体系与协议	420
7.2.1	网络管理概述	420
7.2.2	OSI 网络管理体系	421
7.2.3	IETF 网络管理体系	424
7.2.4	TMN 体系	426
7.2.5	NGOSS 管理体系	432
7.2.6	网络融合管理模型	441
7.3	无线资源管理	442
7.3.1	无线资源管理概述	442
7.3.2	公共无线资源管理	443
7.3.3	联合无线资源管理	444
7.3.4	Multi-Radio 无线资源管理	449
7.3.5	异构无线资源管理	452
7.4	接入策略管理	456
7.4.1	接入网络选择	456
7.4.2	静态接入选择策略	457
7.4.3	动态接入选择策略	467
7.5	重配置管理	471
7.5.1	端到端重配置技术概述	471

7.5.2 端到端重配置网络架构	472
7.5.3 端到端重配置管理	474
7.6 融合业务管理	479
7.6.1 异构网络业务发展概述	479
7.6.2 异构网络业务管理平台	491
7.6.3 业务质量指标体系与评价	496
7.6.4 业务的用户体验管理	502
7.7 网络管理系统方案	514
7.7.1 系统整体架构	514
7.7.2 网络规划与评估	517
7.7.3 网络开通与配置	520
7.7.4 网络监控与管理	521
参考文献	524
第 8 章 结束语	528
参考文献	530
缩略语	531
名词索引	544

第1章

引言

近几年，全球范围内掀起了一轮又一轮的移动互联网（Mobile Internet）热潮，智能手机、支付宝、微信、“互联网+”扑面而来，融入人们的生活；苹果、脸谱（Facebook）、谷歌（Google）、阿里巴巴、百度、腾讯、小米等国际巨头崛起，刮起了一阵改变人类生产、生活的科技革命旋风。移动互联网，已经成为人类社会生产、生活中不可或缺的信息平台，发展前景十分广阔^[1,2]。作为基础和“底座”，网络是移动互联网不断蓬勃发展的前提。网络强，移动互联网弱不了；网络弱，移动互联网强不了。正是因为网络的极度重要性，网络一直是业界关注的重点技术领域，也是本书的主要议题。

本章首先概要介绍互联网的起源与几十年来的发展情况，对无线移动通信的发展也进行了回顾，然后介绍两者结合导致了移动互联网的兴起，并进一步引出移动互联网络的发展趋势和关键技术领域，最后简要介绍全书的内容和章节安排。

1.1 互联网的起源与发展

人类进入文明社会以来，经历了三次工业革命。第一次工业革命又叫产业革命，18世纪60年代首先发生在英国，是指资本主义由工场手工业过渡到大机器生产，在生产领域和社会关系上引起了根本性变化，其标志是蒸汽机的广泛应用，因此也称为蒸汽技术革命^[3]；第二次工业革命，自19世纪70年代开始，几乎同时发生在德国、美国、英国、法国等国家，出现了新兴工业，如电力工业、化学工业、石油工业和汽车工业等，推动了生产力的迅猛发展，其最显著的标志是电

器的广泛应用,因此也称为电力技术革命^[4];第三次工业革命,是人类文明史上继蒸汽技术革命和电力技术革命之后科技领域里的又一次重大飞跃,自 20 世纪 40 年代以来,以美国、苏联为首的国家引领了科学技术的发展,这是一次以原子能、电子计算机、空间技术和生物工程的发明和应用为主要标志,涉及信息技术、新能源技术、新材料技术、生物技术、空间技术和海洋技术等诸多领域的一场信息控制技术革命^[5]。

第三次工业革命的重大突破之一是电子计算机技术的发明和利用,逐步推动了互联网的产生和发展。有人认为,互联网是第三次工业革命的重大发明之一,也有观点认为,第三次工业革命就是“互联网+行业”。不管怎么说,互联网这一举世瞩目的重大技术发明,通过改变人的思维方式、人的生活方式、人与人之间的关系,重新构建了社会生活和商业规则,目前仍在以迅猛的速度推动着人类社会的发展进步。

1.1.1 互联网的起源

1957 年,前苏联发射第一颗人造地球卫星 Sputnik。作为对重大历史事件的直接反应以及由前苏联的卫星技术潜在的军事用途所导致的恐惧,美国国防部组建了高级研究项目局(Advanced Research Projects Agency, ARPA)。当时,美国国防部为了保证美国本土防卫力量和海外防御武装在受到前苏联第一次核打击以后仍然具有一定的生存和反击能力,认为有必要设计出一种分散的指挥系统,它由多个分散的指挥点组成,当部分指挥点被摧毁后,其他点仍能正常工作,并且这些点之间,能够绕过那些已被摧毁的指挥点而继续保持联系。

为了对这一构思进行验证,1969 年美国国防部委托开发 ARPANET(ARPA Network)^[6,7],进行联网研究。同年,美军在 ARPA 制定的协定下将美国加利福尼亚大学、斯坦福大学研究院、加利福尼亚大学和犹他州大学的 4 台主要计算机连接起来,连接方式非常简单,如图 1-1 所示。这个协定由剑桥大学的 BBN 和 MA 执行,在 1969 年 12 月开始联机,当时的网络传输能力只有 50 kbit/s。其目的就是重新树立美国在军事科技应用开发方面的领导地位,从互联网的诞生历程可以发现,促使互联网最初起源的推动力是冷战时期的军备角力思维。

从 1970 年开始,加入 ARPANET 的节点数不断增加。当时 ARPANET 使用的协议是 NCP(Network Control Protocol,网络控制协议),它允许计算机相互交流。最初的 NCP 下 ARPANET 上连接了 15 个节点共 23 台主机。

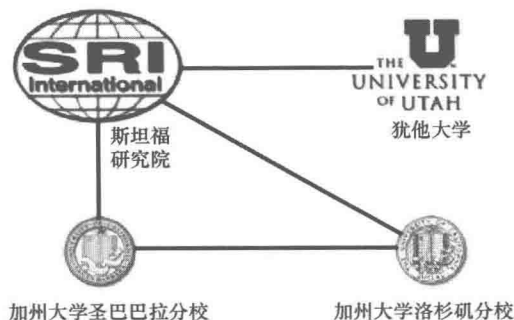


图 1-1 最初的 ARPANET 连接方式

1972 年，ARPANET 的网络节点数已经达到 40 个，这 40 个节点彼此之间可以发送小文本文件（当时称这种文件为电子邮件，也就是现在的 E-mail）以及利用文件传输协议发送大文本文件，包括数据文件（即现在 Internet 中的 FTP），同时也发现了通过把一台电脑模拟成另一台电脑的终端，远程使用该电脑资源的方法，这种方法被称为 Telnet。由此可见，E-mail、FTP 和 Telnet 是 Internet 上较早出现的重要工具，特别是 E-mail，仍然是目前 Internet 上最主要的应用。但在 NCP 下，目的地之外的网络和计算机不分配地址，限制了未来增长的机会。无论如何，ARPANET 成了第一个简单的、纯文字系统的 Internet。

随后，ARPANET 以平均每 20 天就增加一个节点的速度发展，图 1-2 是 1977 年的网络拓扑图。

互联网节点和链路的爆发式增长，导致随后的网络拓扑难以用简单、清晰的拓扑图来表示网络的连接。为此，很多研究机构专门开展互联网的拓扑探测和研究工作。图 1-3 是 AT&T 公司在 2007 年 8 月绘制的互联网骨干网络拓扑结构图^[8]，可以看到，经过多年的发展，互联网已经长成一张巨型蜘蛛网。

1.1.2 互联网的发展演进

互联网诞生后，经历了脱胎换骨式的发展演进过程^[9]，以 TCP/IP、NSFNET、WWW、IPv6 以及下一代互联网等为代表的里程碑式的重大事件，标志着互联网的滚动式发展、螺旋式上升，特别是近 20 年，以势不可挡之势迅速在全球广泛普及，已经成为人类生产、生活的必需品。

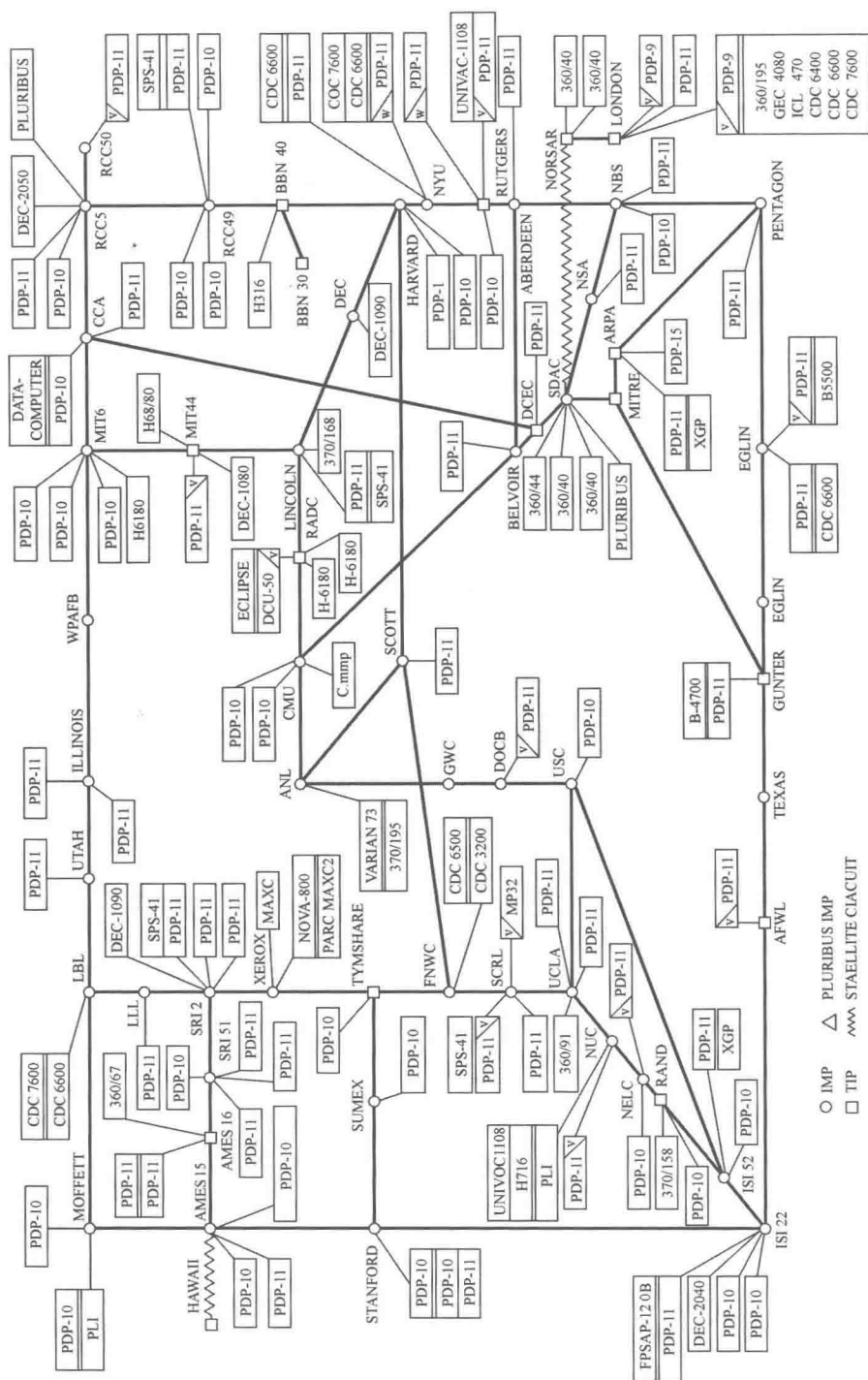


图 1-2 1977 年 3 月的 ARPANET 拓扑

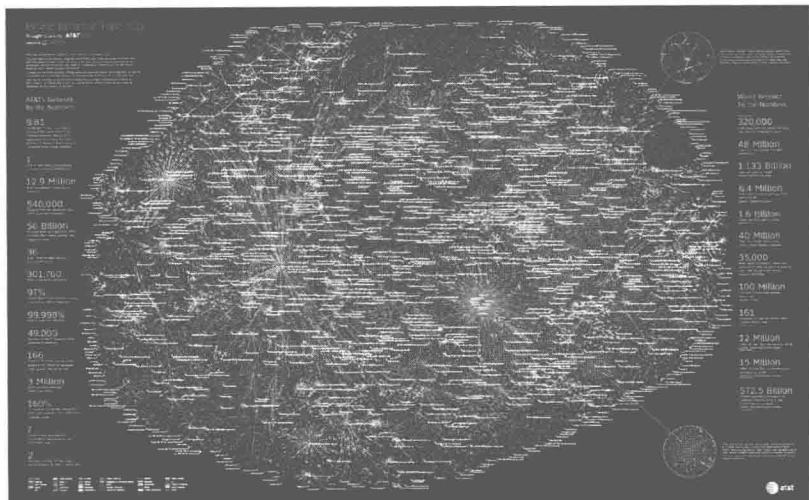


图 1-3 2007 年 8 月 AT&T 公司绘制的互联网骨干网络拓扑

1. TCP/IP 协议的产生

由于最初的通信协议对于节点以及用户机数量的限制，建立一种能保证计算机之间进行通信的标准规范（即通信协议）显得尤为重要。1973 年，美国国防部也开始研究如何实现各种不同网络之间的互联问题。作为 Internet 的早期骨干网，ARPANET 的试验奠定了 Internet 存在和发展的基础，ARPANET 在技术上的另一个重大贡献是 TCP/IP（传输控制协议/网际协议）协议簇的开发和利用，图 1-4 表示的是 TCP/IP 协议体系。1972 年 Robert E. Kahn（罗伯特·卡恩）来到 ARPA，并提出了开放式网络框架，进而出现了大家熟知的 TCP/IP^[10-13]。1983 年 1 月 1 日，所有连入 ARPANET 的主机实现了从 NCP 向 TCP/IP 协议的转换。为了将这些网络连接起来，美国人 Vinton Cerf（温顿·瑟夫）提出一个想法：在每个网络内部各自使用自己的通信协议，在和其他网络通信时使用 TCP/IP 协议。这个设想最终导致了 Internet 的诞生，并确立了 TCP/IP 协议在网络互联方面不可动摇的地位，基于 TCP/IP 协议的公网发展推动了互联网的发展。

2. Internet 的基础——NSFNET

Internet 的第一次快速发展源于美国国家科学基金会（National Science Foundation, NSF）的介入，即建立 NSFNET^[14]。

1984 年，NSF 决定组建 NSFNET。通过 56 kbit/s 的通信线路将美国 6 个超级计算机中心连接起来，实现资源共享。NSFNET 采取的是一种具有三级层次结构的广域网络，整个网络系统由主干网、地区网和校园网组成。各大学的主机可连接到本校的校园网，校园网可就近连接到地区网，每个地区网又连接到主干网，主干网再通过高速通信线路与 ARPANET 连接。这样一来，学校中的任一主机可