

Peer-to-Peer Network

对等网络

黄桂敏 周 娅 武小年 © 著



科学出版社

对等网络

Peer-to-Peer Network

黄桂敏 周 娅 武小年 著

科学出版社
北京

内 容 简 介

对等网络作为一种新型的分布式网络，它的发展受到了学术界与产业界的重视，人们普遍认为它是未来网络变革的重要技术之一。本书从对等网络的起源到它的发展趋势，由浅入深，循序渐进，全面系统地介绍了对等网络的主要知识。首先介绍了对等网络的发展历史、基本概念与基本原理，同时重点分析了对等网络的经典网络协议、网络地址转换的穿透方案、网络的安全问题与安全保护手段；然后介绍了对等网络常见的仿真工具、开发环境、应用系统；最后讨论了对等网络的重要研究方向与发展趋势。本书采用理论相结合的撰写思路，采用大量的图表并结合了实际系统，详细介绍了对等网络的各方面技术，便于读者系统与全面地学习对等网络的知识。

本书是一本对等网络的学术专著，它介绍了学术界、产业界较有影响的研究成果与应用系统，内容撰写力求前沿、系统、全面、实用。本书适合网络系统的研究与开发人员、工程技术人员，以及想了解对等网络研究成果与进展的相关人员阅读。同时，本书也可以作为高等院校、培训基地等讲授对等网络知识的教材。

图书在版编目(CIP)数据

对等网络=Peer-to-Peer Network/黄桂敏,周娅,武小年著. —北京:科学出版社, 2011.6

ISBN 978-7-03-031254-9

I. ①对… II. ①黄… ②周… ③武… III. ①计算机网络-高等学校-教材
IV. ①TP393

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第100965号

责任编辑:胡凯 顾艳 / 责任校对:鲁素

责任印制:赵博 / 封面设计:王浩

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年6月第一版 开本:787×1092 1/16

2011年6月第一次印刷 印张:15 1/4

印数:1—2 000 字数:339 000

定价:49.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

20 世纪 50 年代中后期，人们将地理上分散的若干台计算机终端通过通信线路连接到一台中心计算机上，从而出现了第一代计算机网络。事实上，现代意义上的计算机网络起源于 1969 年美国国防部高级研究计划局的 ARPANET 实验网络，它的出现标志着第二代计算机网络的诞生。第二代计算机网络的特点就是以互通互连的方式来实现资源与信息的共享。随着计算机网络技术的成熟，网络应用越来越广泛，网络通信变得越来越复杂，各种网络技术标准层出不穷，其中最为著名的是 1977 年国际标准化组织制定的 OSI/RM 开放系统互连参考模型。OSI/RM 模型标志着第三代计算机网络的出现，形成了一个具有统一网络体系结构、遵循国际标准化网络协议的网络系统。20 世纪 80 年代末，随着局域网技术发展成熟，光纤及高速网络技术发展，1985 年美国国家科学基金会利用 ARPANET 建立起用于科学研究和教育的 NSFNET；1990 年 NSFNET 取代 ARPANET 成为美国国家骨干网，在随后的岁月里它走出了大学、研究机构，进入平民百姓家，成为互联网。

对等网络，英语书写为 Peer-to-Peer Network，简称 P2P，其中的 Peer 在英语里有“（地位、能力等）同等者”、“同事”和“伙伴”等意思。因此，P2P 可理解成为“伙伴对伙伴”或“对等关系”的网络。简单地说，P2P 可以使网络上一台计算机直接连接到其他计算机进行浏览与下载所需文件，而不是像传统的方式连接到服务器去浏览与下载所需要的文件。P2P 改变了互联网传统的客户/服务器中心化模式，重返了“非中心化”的分布式模式。

在传统的客户/服务器模式中，服务器是整个网络服务的中心和控制者，服务提供者通过服务器向大众提供资源，用户通过客户端按照规定的协议向服务器请求所需的文件。因此，只有服务器正常工作才能够使服务正常维持下去。现在出现的 P2P 模式从根本上颠覆了传统的客户/服务器模式，它模糊了服务提供者与使用者的界限，甚至在其中不存在传统意义上的服务器与客户端的概念。服务器也不再是网络服务的中心与控制者，每一个参与服务的使用者既是客户端又是服务器，加入网络的使用者很快就会成为服务提供者，为后来加入网络的使用者提供服务。

虽然 P2P 的思想在计算机网络出现的初期就已经出现，然而它真正受到学术界与技术界的重视却是在 20 世纪末。许多著名的国际会议（如 IPTPS 会议、IEEE P2P 会议、SIGCOMM 会议、SPPA 会议、PODC 会议、ICNP 会议、INFOCOM 会议、US-ITS 会议等）和学术期刊（如 *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems* 期刊、*ACM Transactions on Networks* 期刊等）陆续发表了一些重要的 P2P 研究论文，这些论文提出了许多著名的 P2P 协议，例如 Gnutella 协议、Chord 协议、CAN 协议、Pastry 协议、Kademlia 协议、Skype 协议、Cycloid 协议、Viceroy 协议、Koorde 协议

等。同时，对等网络工作组也完成了对 P2P 术语的统一化工作并形成了相关的草案。随着 2006 年对等网络工作组合并到全球网格论坛，P2P 研究又成为了 Grid 研究的重要分支，出现了 P2P 研究与 Grid 研究相辅相成的局面。

至今为止，虽然 P2P 的出现带来了许多法律方面的纠纷与技术问题，然而它在促进互联网发展方面所发挥的作用是不可争辩的。无数基于 P2P 技术的互联网应用给人们带来了极大的便利与快乐，相信随着它的发展，其蕴藏的力量将会不断释放，而这些释放的力量也将会给未来计算机网络的发展带来全新的思路。

本书的整体构思由黄桂敏教授完成，书中的第 1~3 章、第 5 章、第 8 章由黄桂敏教授撰写完成；第 6 章、第 7 章由周娅教授撰写完成；第 4 章由武小年副教授撰写完成；全书最后由黄桂敏教授修改定稿。

如何阅读本书

本书是一本介绍对等网络技术的学术著作，读者在阅读本书之前，需要了解互联网的 TCP/IP 协议内容，才能够读懂本书的内容。在阅读本书时，读者可以采用如下两种阅读路线学习本书内容：

▶了解基本概念与思想阅读路线：第 1 章绪论→第 5 章对等网络模拟与仿真工具→第 6 章对等网络的常见开发环境→第 7 章常见的对等网络应用系统→第 8 章对等网络研究与发展趋势。

▶掌握基本概念与原理阅读路线：第 1 章绪论→第 2 章经典的对等网络协议分析→第 3 章网络地址转换的穿透问题→第 4 章对等网络的网络安全问题→第 5 章对等网络模拟与仿真工具→第 6 章对等网络的常见开发环境→第 7 章常见的对等网络应用系统→第 8 章对等网络研究与发展趋势。

参考文献来源

本书所引用的参考文献主要来自于最近几年各种国际会议或学术期刊上发表的论文，通过 Google 与百度搜索引擎收集的大量 Web 资源、信息与图片，尤其是国内外 P2P 研究机构关于 P2P 研究的资料，最近几年出版的 P2P 的学术研究成果等。由于引用的参考资料数量巨大，无法做到一一列举，如果有未尽事宜望请有关研究者谅解，在此对被引用者表示感谢。

致谢

本书在写作过程中，得到了很多老师和同学的帮助。感谢程小辉教授、李肖坚教授、梁正友教授，他们在百忙之中抽出时间仔细阅读了本书初稿，并提出了有价值的宝贵意见；感谢朱晓殊副教授、研究生梁宇宏、曹国媛、张颖等同学，他们帮助校对本书部分章节文字，绘制部分章节图表。

本书的出版得到了桂林电子科技大学与科学出版社等的大力支持，获得了桂林电子科技大学专著基金（基金编号：US10003Y）、国家自然科学基金项目（项目批准号：

61063038)、桂林电子科技大学省部共建教育部重点实验室认知无线电与信息处理实验室基金、桂林电子科技大学广西可信软件重点实验室基金的资助。

由于作者水平有限，加上时间仓促以及收集资料不一定全面，所撰写的内容难免有疏漏之处，恳请同行专家及广大读者批评指正。

黄桂敏 周娅 武小年

2011年3月于桂林

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 P2P 的起源	1
1.2 什么是 P2P	3
1.2.1 P2P 的定义	3
1.2.2 P2P 的特点	6
1.3 P2P 拓扑结构	8
1.3.1 集中拓扑结构	8
1.3.2 环型拓扑结构	9
1.3.3 分层拓扑结构	9
1.3.4 分布拓扑结构	10
1.3.5 集中环型拓扑结构	10
1.3.6 集中分布拓扑结构	10
1.3.7 混合交叉拓扑结构	11
1.4 P2P 体系结构.....	11
1.4.1 第一代 P2P	12
1.4.2 第二代 P2P	12
1.4.3 第三代 P2P	12
1.4.4 第四代 P2P	13
1.5 P2P 与 Grid	13
1.5.1 P2P 与 Grid 概念	13
1.5.2 P2P 与 Grid 异同	14
1.5.3 P2P 与 Grid 联系	16
1.6 P2P 的应用.....	16
1.7 小结.....	18
第 2 章 经典的对等网络协议分析	19
2.1 Napster	19
2.1.1 Napster 系统组成.....	19
2.1.2 Napster 协议内容.....	21
2.1.3 关于 Napster 讨论	24
2.1.4 Napster 小结	24
2.2 Gnutella	25
2.2.1 Gnutella 系统组成	25

2.2.2	Gnutella 协议内容	27
2.2.3	关于 Gnutella 讨论	34
2.2.4	Gnutella 小结	35
2.3	DHT	35
2.3.1	散列概念	36
2.3.2	散列函数	36
2.3.3	DHT 结构组成	37
2.3.4	DHT 存储空间划分	38
2.3.5	DHT 网络路径长度	39
2.3.6	DHT 网络应用框架	39
2.3.7	DHT 小结	40
2.4	Chord	41
2.4.1	Chord 结构组成	41
2.4.2	Chord 路由原理	43
2.4.3	Chord 网络动态处理	48
2.4.4	关于 Chord 的讨论	52
2.4.5	Chord 小结	54
2.5	CAN	54
2.5.1	CAN 结构组成	55
2.5.2	CAN 路由原理	56
2.5.3	关于 CAN 讨论	58
2.5.4	CAN 小结	59
2.6	Pastry	60
2.6.1	Pastry 结构组成	60
2.6.2	Pastry 路由原理	61
2.6.3	关于 Pastry 的讨论	62
2.6.4	Pastry 小结	62
2.7	Kademlia	63
2.7.1	Kademlia 结构组成	63
2.7.2	Kademlia 路由原理	66
2.7.3	关于 Kademlia 讨论	68
2.7.4	Kademlia 小结	69
2.8	Skype	69
2.8.1	Skype 结构组成	69
2.8.2	Skype 通信流程	70
2.8.3	关于 Skype 讨论	73
2.8.4	Skype 小结	73
2.9	典型常数度 P2P 协议	74

2.9.1	Cycloid	74
2.9.2	Viceroy	74
2.9.3	Koorde	75
2.10	小结	75
第3章	网络地址转换的穿透问题	76
3.1	什么是 NAT 方案	77
3.1.1	NAT 概述	77
3.1.2	NAT 工作原理	78
3.1.3	NAT 分类	80
3.1.4	NAT 类型检测	84
3.2	P2P 中穿越 NAT 的方案	86
3.2.1	中继传递穿透 NAT	86
3.2.2	逆向连接穿透 NAT	87
3.2.3	基于 UDP 穿越 NAT	87
3.2.4	基于 TCP 穿越 NAT	97
3.3	关于穿越 NAT 的讨论	103
3.4	小结	104
第4章	对等网络的网络安全问题	105
4.1	数字版权管理	106
4.1.1	数字产品版权纠纷	106
4.1.2	数字版权管理概述	108
4.1.3	数字版权管理模型	109
4.1.4	数字版权管理技术	111
4.1.5	数字版权管理实例	115
4.2	网络安全问题	117
4.2.1	网络安全模型	118
4.2.2	入侵检测模型	120
4.2.3	信任管理机制	124
4.3	其他安全问题	128
4.3.1	文件污染问题	128
4.3.2	匿名通信问题	129
4.3.3	路由安全问题	130
4.4	小结	131
第5章	对等网络模拟与仿真工具	133
5.1	P2P 仿真器使用情况	133
5.2	P2P 仿真器评价标准	134
5.3	一种通用的 P2P 仿真器	135
5.3.1	体系结构	135

5.3.2	网络层	136
5.3.3	协议层	137
5.3.4	用户层	138
5.3.5	仿真示例	138
5.4	P2P 代表性的仿真器	141
5.4.1	NS-2	141
5.4.2	OMNeT++	143
5.4.3	P2PSim	144
5.4.4	OverSim	145
5.4.5	QCS	145
5.4.6	PlanetSim	145
5.4.7	PeerSim	147
5.4.8	GPS	147
5.4.9	NeuroGrid	148
5.4.10	Overlay Weaver	149
5.5	小结	149
第 6 章	对等网络的常见开发环境	151
6.1	JXTA	151
6.1.1	JXTA 设计目标	152
6.1.2	JXTA 体系结构	152
6.1.3	JXTA 基本术语	153
6.1.4	JXTA 核心协议	158
6.1.5	JXTA 应用方面	160
6.2	Windows P2P	161
6.2.1	Windows P2P 设计目标	161
6.2.2	Windows P2P 体系结构	162
6.2.3	Windows P2P 基本概念	163
6.2.4	Windows P2P 工作原理	164
6.2.5	Windows P2P 应用方面	166
6.3	Globus	167
6.3.1	Globus 设计目标	169
6.3.2	Globus 体系结构	170
6.4	小结	171
第 7 章	常见的对等网络应用系统	174
7.1	P2P 应用领域	175
7.1.1	信息共享	175
7.1.2	普及计算	175
7.1.3	协同工作	176

7.1.4 即时通信	176
7.1.5 信息检索	176
7.1.6 网络存储	177
7.1.7 其他应用	177
7.2 P2P 典型系统	177
7.2.1 BitTorrent	177
7.2.2 LimeWire	178
7.2.3 Shareaza	179
7.2.4 Kazaa	179
7.2.5 eMule	180
7.2.6 WinMX	180
7.2.7 Gnutella	182
7.2.8 Azureus	183
7.2.9 μ Torrent	184
7.2.10 Morpheus	184
7.2.11 Skype	185
7.2.12 Groove	185
7.2.13 PPLive	187
7.2.14 Thunder	187
7.2.15 PP 点点通	188
7.2.16 KuGoo	189
7.2.17 Maze	190
7.2.18 AnySee	190
7.2.19 Granary	192
7.3 小结	192
第 8 章 对等网络研究与发展趋势	193
8.1 P2P 存在的典型问题	193
8.2 P2P 的重要研究方向	196
8.2.1 拓扑结构研究	196
8.2.2 信息检索研究	201
8.2.3 分布存储系统研究	203
8.2.4 网络流量优化研究	208
8.2.5 流媒体服务的研究	213
8.2.6 网络用户行为研究	215
8.2.7 商业价值模式研究	218
8.3 P2P 的国内研究情况	221
8.4 P2P 的重要国际会议	222
8.5 P2P 的发展趋势展望	222
参考文献	224

第 1 章 绪 论

1.1 P2P 的起源

最近几年,对等网络(Peer-to-Peer Network,简称 P2P,也称覆盖网络)作为一种新型的互联网,其应用迅速发展,使得很多人错误地认为 P2P 是一种新型网络。实际上在互联网诞生初期,P2P 的思想就已经在计算机网络中存在,它的起源可以追溯到 Usenet。Usenet 作为一种向公众提供信息服务的网络系统,在大量分布服务器之间通过洪泛算法来为用户发布消息,这种洪泛算法在今天的 P2P 中仍然得到广泛使用。可以说,P2P 更多地是一种网络结构的思想,而不是一种新型的网络,它是架构在互联网的网络接口层之上的一种逻辑网络。它的发展给人们带来了平等互通的互联网理念,回归了互联网自由共享的精神。然而,在互联网发展初期,由于万维网的迅速发展,客户/服务器(Client/Server, C/S)网络结构逐渐成为了互联网上一种主流网络结构,P2P 反而逐渐被人们所淡忘。直到 20 世纪 90 年代后期,以 Napster 为代表的一些 P2P 系统的出现,才使 P2P 这个概念又重新引起人们的关注。下面让我们通过阅读 Napster 的故事来回顾 P2P 的发展历程。

许多对互联网熟悉的人都会知道 Napster 的故事。作为一个小小的音乐下载工具,它却改变了人们在互联网上共享信息与交流沟通的方式。下面让我们重温一个美国大学生的突发奇想,看看它会给今天的互联网带来什么呢?

1998 年 5 月,美国东北波士顿大学的新生肖恩·范宁开发了一个能够在互联网上搜索与下载所需歌曲音乐文件的 Napster,这方便了无数音乐爱好者,使他们能够通过互联网搜索与下载所喜爱的歌曲音乐文件。令肖恩·范宁没有想到的是:到 1999 年,Napster 令无数音乐爱好者在一夜之间就喜欢上它,在最高峰时它甚至拥有 8000 万注册用户,这是一个令其他网络软件望尘莫及的数字。Napster 从诞生到终结的发展过程如下:

▶1999 年 5 月,范宁和帕克共同创办了 Napster,之后他们面临的麻烦就连续不断。

▶1999 年 12 月,美国唱片协会代表环宇音乐、索尼音乐、华纳音乐、百代唱片和 BMG 等唱片公司,以违反版权保护法为理由把 Napster 告上法庭,要求法院关闭 Napster 并赔偿其损失。

▶2000 年 6 月,美国唱片协会和美国音乐出版协会以 Napster 侵犯他们的版权为由向法院起诉 Napster,请求法院禁止在社会上流通 Napster。

▶2000 年 7 月,美国参议院围绕针对 Napster 的一系列诉讼召开听证会,反对 Napster 一方的参议员敦促国会进一步调查,以澄清 Napster 是否违反了知识产权法;而支持 Napster 一方的参议员认为国会不应该在当下介入双方的争端,以致影响新技术

的发展。

▶2000年7月，美国法院同意美国唱片协会与美国音乐出版协会的请求，裁决要求 Napster 立即停止向音乐爱好者提供歌曲音乐搜索与下载的服务。

尽管 Napster 发展受到了挫折，也不管 Napster 案件最终结局如何，但所有这些都不能改变 Napster 后面的技术和思想给互联网带来的影响。至少 Napster 使唱片行业认识到其销售唱片方式需要进行革新，也使人们在互联网上轻易地传输整部电影成为可能。Napster 创造的奇迹揭示了在互联网时代，普通人也具有改变整个互联网世界的的能力。虽然，当肖恩·范宁开发 Napster 的时候，他只不过是想和他的朋友共享歌曲音乐文件，但是现今它却正在改变整个互联网世界。



图 1-1 1969 年初期 ARPANET
(资料来源: www.google.com)

其实，Napster 的真正贡献在于它唤醒了深藏在互联网背后的“平等”的思想，它的成功促使了人们认识到可以把这种“平等”思想拓展到整个互联网的可能性。从互联网发展历史进程来看，初期的 ARPANET 也是采用“平等”网络结构来连接网络上的每台主机，图 1-1 所示是 1969 年 ARPANET 的网络结构。后来只是随着互联网规模的不断扩大，C/S 才逐渐成为互联网中占统治地位的网络结构。然而，客户/服务器暴露的问题又使人们开始思考互联网应该采用怎样的网络结构才更有利于互联网的发展。现在流行的 P2P 可以看作是一种互联网对传统网络结构的回归现象。

2001 年 10 月，美国《财富》杂志评价说，P2P 是今后改变互联网发展的四大新技术之一。从技术角度看，P2P 并未激发出任何重大的创新，而更多的是改变了人们对互联网的理解与认识。正是由于这个原因，IBM 公司宣称 P2P 不是一个技术概念，而是一个社会和经济现象。可以说，P2P 的出现与第一个浏览器 Mosaic 的产生很类似，P2P 在产业界受到注视的程度远远高于学术界。从 P2P 的未来发展趋势来看，P2P 很有可能成为 C/S 的后续者，目前已经有很多公司把 P2P 技术融入到其主要产品中，其中包括 IBM 公司、Microsoft 公司、Intel 公司、Sun 公司等。同时，由于 P2P 使用上的方便以及资源的丰富，使得这项技术出现之后一直受到网络用户的欢迎。根据 Big Champagen 公司的调查，在 2005 年 12 月至 2006 年 1 月期间，全球 P2P 用户人数增加了 11.6 万多人，在线人数超过了 967 万。据 iResearch 公司统计，2006 年中国 P2P 流媒体日均使用用户数量有 1000 万，占 P2P 流媒体用户的 25%；预计到 2010 年，P2P 流媒体日均使用用户数量将达到 6300 万，占 P2P 流媒体用户的 40%。图 1-2 所示是 2005 年至 2010 年中国 P2P 流媒体日均使用的用户数量发展预测。

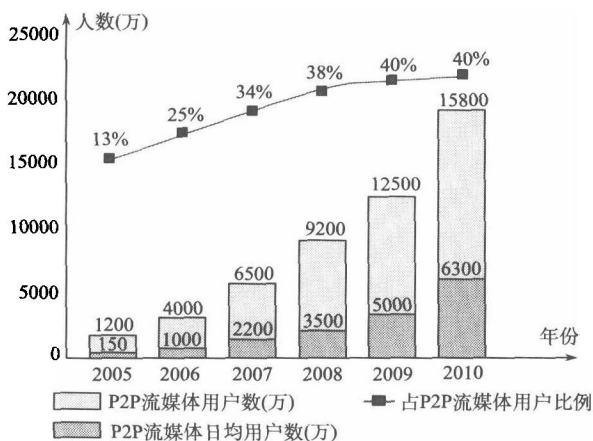


图 1-2 2005 年至 2010 年期间全球对等网络用户发展情况

(资料来源: www.iresearch.com.cn)

注: P2P 流媒体用户数为月均通过流媒体软件或网站至少观看 P2P 流媒体节目一次的用户数; P2P 流媒体日均用户数是每天观看 P2P 流媒体节目平均用户数。

1.2 什么是 P2P

P2P 是一种典型的自组织计算机网络,它是由一些具有相同地位、能够提供某类服务的计算机组成的网络群体,它也是一种基于互联网的分布式计算模型或网络系统;而在许多文献中它通常被称为覆盖网络(Overlay Network)或对等计算(Peer-to-Peer Computing)或对等网络系统(Peer-to-Peer System)。本书会针对不同的讨论范畴,使用其对应的术语。在本书中,我们把 P2P 中每个计算实体统称为节点(Peer),节点可以是程序、计算机、数字设备等。而且,它们同时扮演着客户机与服务器的角色,具有客户机与服务器的功能。

1.2.1 P2P 的定义

虽然, P2P 技术及其应用已经出现许多年,但是就像其他新技术在发展初期没有统一定义一样,到目前为止, P2P 还没有一个统一的定义。为了反映 P2P 的特点,人们提出了很多关于它的定义,下面是一些 IT (Information Technology) 公司或 P2P 研究人员对 P2P 的定义:

► P2P 是一种通过计算机系统之间的直接交换来实现计算机资源与服务的共享技术 (Intel 公司, 2001)。

► P2P 是由若干相互连接、协同工作的计算机构成的系统,它具有如下的特点:
①系统依靠边缘化设备(非中央服务器)的协同工作,使系统中每个计算机成员直接从其他计算机成员而不是从中央服务器受益;②系统中成员同时扮演服务器与客户机的角

色；③系统中各个用户能够意识到彼此的存在，它们之间构成一个虚拟或实际的群体（IBM公司，2001）。

▶P2P 是一种每个节点都具有相同能力与责任的网络结构。对等网络的网络结构与 C/S 的网络结构完全不同。通常，在 C/S 的网络结构中，使用一台或多台中央服务器为其他客户机提供服务；对等网络使节点之间数据与信息的实时传输变得更加容易，节点既可以起到客户机的作用又可以起到服务器的作用，并且每个节点具有自治性并能够维护那些中断连接节点和没有固定 IP 地址的节点（Mike Miller，2001）。

▶P2P 是通过个人计算机之间直接交换来实现计算机资源和服务的共享，这些共享的资源与服务包括：存储空间、处理能力、信息内容，以及人类使用这些节点的行为等。对等网络利用个人计算机的能力和网络的连通性，允许个人计算机向整个网络贡献其各自的能力（P2P 工作组，2001）。

从上面的这些对等网络定义可以看到有些概念是一致的，例如：资源共享、自治/分布，以及 C/S 双重身份等，这些都体现了 P2P 的一些基本特性。在这里，我们综合上面对等网络定义也给出一个简单的 P2P 定义：

P2P 是一种分布式网络，其中的任何一个节点能够共享这个网络中其他节点的一些资源，如处理能力、存储空间、网络连接、信息文件等。这些被共享的资源是由这个网络中的每个节点所提供，而且能够被这个网络中其他的节点直接访问而无需经过中央服务器的控制。在这个网络中的节点既是资源的提供者，又是资源的享用者。

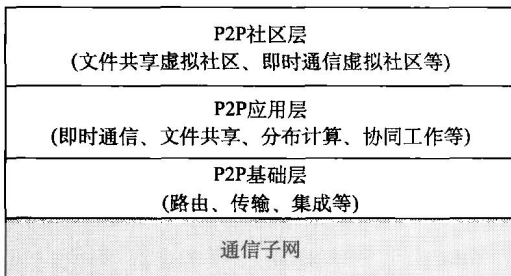


图 1-3 P2P 分层原理图

我们经常见到一些文献中把 P2P 称为覆盖网络，意思是说 P2P 是建立在通信子网之上的一个逻辑网络，它的分层原理如图 1-3 所示。一个 P2P 的逻辑网络可以由三层组成：第一层是 P2P 基础层，第二层是 P2P 应用层，第三层是 P2P 社区层。下面就每层内容进行简单介绍：

▶**P2P 基础层**：它位于通信子网上，为 P2P 应用层与 P2P 社区层提供路由、

传输、应用等功能。这些功能通过基于网络协议的组件辅助网络节点相互定位、通信、标识、共享和交换其资源，以及像身份验证与授权等方面的安全处理。

▶**P2P 应用层**：它在 P2P 基础层之上，为 P2P 社区层提供一系列应用。这些应用是针对实际问题在 P2P 基础层的功能基础上实现的一系列应用系统，例如：即时通信、文件共享、分布计算、协同工作、内容发布、信息检索等。

▶**P2P 社区层**：它位于 P2P 应用层之上，是由使用 P2P 应用层的应用系统的人们组成的群体。不同的群体由不同兴趣的人群组成，例如：喜欢搜索与下载的人们通过某种 P2P 搜索下载工具组成一个文件共享虚拟社区；喜欢即时聊天的人们通过某种 P2P 即时聊天工具组成一个即时通信虚拟社区。

大家知道，网络协议是指网络上所有设备（如服务器、计算机、交换机、路由器、防火墙等）之间通信规则的集合，它定义了通信时信息必须采用的格式和这些格式的意

义。大多数网络都采用分层的体系结构，每一层都建立在它的下层之上，向它的上一层提供一定的服务，而把如何实现这一服务的细节对上一层加以屏蔽。一台设备上的第 n 层与另一台设备上的第 n 层进行通信的规则就是第 n 层协议。在网络的各层中存在着许多协议，接收方和发送方同层的协议必须一致，否则一方将无法识别另一方发出的信息。网络协议使网络上各种设备能够相互交换信息。

常见的 TCP/IP 协议由 4 层协议组成：应用层、传输层、网络层、网络接口层。其中网络接口层负责接收与发送数据帧，网络层负责网络节点之间的数据路由，传输层负责端到端之间的数据传送，应用层提供诸如文件传输、电子邮件等应用服务。TCP/IP 的工作原理的简单描述是：应用层把要传送的文件或信息交给传输层；传输层首先把要传送的文件或信息分解成为数据包，然后把数据包交给网络层；网络层首先以尽最大努力的服务方式为这些数据包选择合适路由路径，然后把数据包分解成数据帧交给网络接口层；网络接口层以尽最大努力的传送方式把这些数据帧传送到目的地。TCP/IP 协议栈如图 1-4 所示。

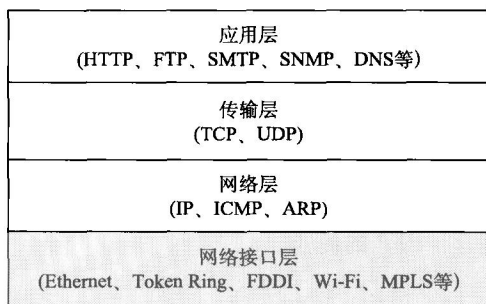


图 1-4 TCP/IP 协议栈

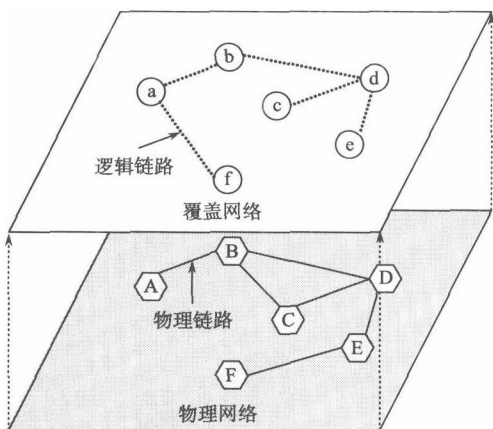


图 1-5 覆盖网络与物理网络示例

因此，P2P 基于 TCP/IP 协议建立起来的覆盖网络，位于 TCP/IP 协议的网络接口层之上，主要包含了 TCP/IP 协议的应用层、传输层、网络层，是一种属于高于物理网络的逻辑网络。它的拓扑结构与物理网络的拓扑结构不会完全一致，例如在覆盖网络中消息路由的一个“跳”，在物理网络中可能需要几个“跳”才能够完成；又如图 1-5 所示的覆盖网络上一条从 $a \rightarrow f$ 的逻辑链路，由物理网络中 $A \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow F$ 的物理链路来实现。

根据节点在 P2P 中的生命周期，一个节点在一个文件共享 P2P 系统中经历了加入、搜索、下载、离开四个生命阶段。下面通过介绍这四个生命阶段使大家初步了解一个文件共享 P2P 系统的工作原理。

► **加入**：当节点 1 想要加入 P2P 社区 1 时，它首先在该社区中找到一个活跃节点 2，并从节点 2 那里获得该社区的基本信息（如节点 2 的邻居节点有哪些）。然后，节点 1 加入 P2P 社区 1，同时在自己的路由表中添加节点 2 及其邻居节点的信息，随后把自己的基本信息（如 IP 地址、端口号）在 P2P 社区 1 上发布；当节点 2 及其邻居节点接收到这些基本信息后，马上把它们添加到自己的路由表中。

► **搜索**：当节点 1 想要在 P2P 社区 1 中下载某个文件时，它发出一个查询请求，

P2P 社区 1 的定位协议帮助这个查询请求确定哪个是目的节点；P2P 社区 1 的路由协议路由这个查询请求到目的节点 k。当节点 k 接收到节点 1 发来的查询请求后，它发出一个响应消息，P2P 社区 1 的定位协议帮助这个响应消息确定哪个是源节点；P2P 社区 1 的路由协议路由这个响应消息到源节点 1。

▶**下载：**当节点 1 接收到节点 k 发来的响应消息后，P2P 社区 1 的下载协议在节点 1 与节点 k 之间建立一个下载链路，并在 P2P 社区 1 中寻找一些合适节点帮助节点 1 从节点 k 下载所需文件。

▶**离开：**当节点 1 想离开 P2P 社区 1 时，它首先向该社区发出一个离开消息，随后节点 1 自动离开 P2P 社区 1。同时，节点 2 及其邻居节点接收到这个离开消息后，马上在它们的路由表中删除节点 1 的信息。

1.2.2 P2P 的特点

从上面 P2P 定义可以看出，P2P 强调的是：伙伴对伙伴（指两个对等节点之间的直接联系）；计算机对计算机（指端到端软硬件资源的透明共享，这些资源包括存储空间、信息文件、计算能力与网络资源等）；人对人（指人类使用通过网络来进行沟通）。同时，P2P 打破了客户/服务器中服务器是整个互联网应用服务的中心的局面，使互联网上每台计算机的地位平等，因为它们既是服务器（服务提供者），同时又是客户机（服务享用者）。

为了进一步理解 P2P，这里我们把 C/S 模式与 P2P 模式进行对比。在图 1-6 的 C/S 模式中，每个节点要么扮演客户端的角色，要么扮演服务器的角色；计算能力与存储空间可以在客户端与服务器之间共享，服务器在 C/S 中起中央控制节点的作用。然而，在图 1-7 的 P2P 模式中，每个节点既扮演客户端的角色，同时又扮演服务器的角色。例如：作为客户端，它可以从其他节点搜索与下载所需信息资源；作为服务器，它又向其他节点提供信息资源。P2P 的特点主要表现在以下几个方面：

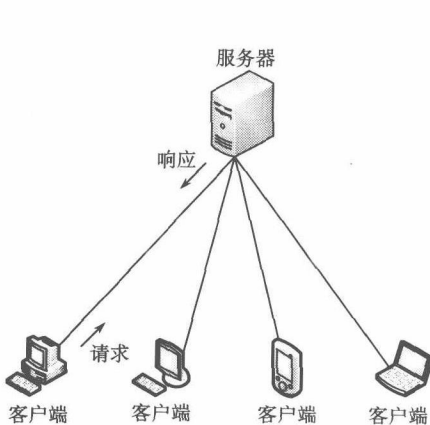


图 1-6 C/S 模式

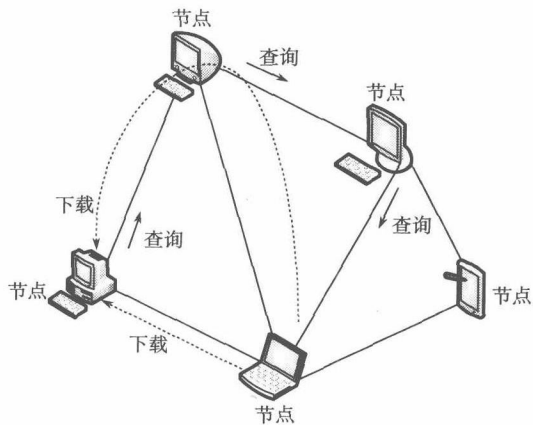


图 1-7 P2P 模式