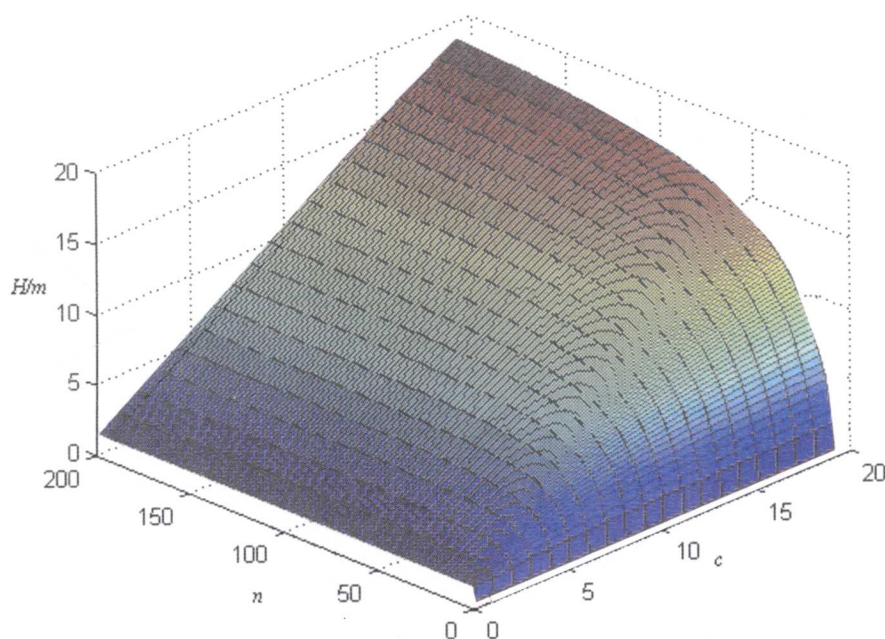


中国科协三峡科技出版资助计划

BitTorrent类型对等网络的位置知晓性研究

聂荣 著



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

014035466

TP393
1346

中国科协三峡科技出版资助计划

BitTorrent 类型对等 网络的位置知晓性研究

聂 荣 著



中国科学技术出版社
· 北 京 ·



北航

C1722867

TP393
1346

图书在版编目 (CIP) 数据

BitTorrent 类型对等网络的位置知晓性研究/聂荣著. —北京: 中国科学技术出版社, 2014. 1

(中国科协三峡科技出版资助计划)

ISBN 978-7-5046-6499-0

I. ①B… II. ①聂… III. ①计算机网络-研究 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 303151 号

总 策 划 沈爱民 林初学 刘兴平 孙志禹

责任编辑 包明明

项目策划 杨书宣 赵崇海

责任校对 孟华英

出 版 人 苏 青

印刷监制 李春利

编辑组组长 吕建华 许 英 赵 晖

责任印制 张建农

出 版 中国科学技术出版社

发 行 科学普及出版社发行部

地 址 北京市海淀区中关村南大街 16 号

邮 编 100081

发行电话 010-62103349

传 真 010-62103166

网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

开 本 787mm×1092mm 1/16

字 数 267 千字

印 张 11.25

版 次 2014 年 3 月第 1 版

印 次 2014 年 3 月第 1 次印刷

印 刷 北京华联印刷有限公司

书 号 978-7-5046-6499-0/TP·391

定 价 48.00 元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

作者介绍



聂荣 (1977—), 男, 河南永城人, 2006 年于北京邮电大学获得博士学位, 2013 年国家数字交换系统工程技术研究中心博士后出站。现工作于郑州航空工业管理学院, 副教授, 国际学院及软件职业技术学院副院长。主要研究方向为 P2P 网络、网络测量等。先后以第一作者发表论文 15 篇; EI 收录 7 篇; 出版著作 2 部。

前 言

本书首次全面、系统研究 BitTorrent 类型对等 (P2P) 网络位置知晓性问题。BitTorrent (BT) 是采用了多源文件传输机制的 P2P 网络, 因为优异的下载性能, 应用广泛。P2P 网络的使用模式和流量模式均不同于传统电信服务和网络业务, 直接应用已确立的流量工程技术进行仿真和分析, 存在较大的不确定性和误差。但大部分研究仅采用网络仿真进行验证, 结论与实际结果之间可能存在严重偏差。对实际 BT 网络的相关研究较少。国内有关 P2P 网络的学术专著较少, 且主要集中在介绍 P2P 网络的基本概念、技术原理、组网架构以及常见的仿真工具、开发环境、应用系统等。

因此, 本书基于 P2P 网络研究的现状, 深入研究 BitTorrent 网络原理, 分析客户端 Azureus 代码, 设计和开发了类似爬行者的 BT 网络探测程序, 对实际运营的 BT 网络进行了测量和分析, 并结合 BT 网络的位置知晓性问题对测量数据进行整理分析。特别是对网络节点的地理位置与在线时间进行了综合分析, 揭示了在一定较小网络范围内总是存在多个节点同时下载同一文件的现象。研究结果还揭示了节点在线时长、节点个数-时间分布规律、节点的地理位置分布规律和各类型 BT 网络客户端的使用排名、节点连接建立的主动性、客户端版本等规律。这有助于掌握 BT 类型 P2P 网络的基本特性和流量分布规律, 为网格、可重构路由、传感器网络等领域的相关研究提供实际数据支撑和研究基础。

本书内容明确、结构紧凑, 从现象到理论分析, 又从理论回到实践, 逻辑缜密、资料与数据翔实。在 P2P 网络技术的研究和运营商优化网络流量等方面均具有重要的理论和应用价值。

衷心感谢我的博士生导师雷振明教授、博士后导师兰巨龙教授, 他们

严谨的治学态度、孜孜以求的敬业精神和忘我的工作热情让我终身受益。他们认真指导本书的写作，给予很多指导和帮助，为研究工作提供了非常好的科研和学习环境。感谢王欢、刘枫、林文辉、李程、夏义三、张思思、李科丁、韩纬禧、张蕾、刘洋、夏仲璞、肖捷、张迪迪、张城楠、刘献奇、金蕾蕾、黄少川、邢哲等同学先后辛勤参与项目和本书的研究和开发工作。

与本书相关的研究工作先后获得了河南省教育厅自然科学研究项目(2008B510022)、河南省教育厅高等学校青年骨干教师资助计划(2010GGJS-148)、国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2012CB315900)支持。

聂 荣

2013. 9. 30

中国科协三峡科技出版资助计划 2012 年第一期资助著作名单

(按书名汉语拼音顺序)

1. 包皮环切与艾滋病预防
2. 东北区域服务业内部结构优化研究
3. 肺孢子菌肺炎诊断与治疗
4. 分数阶微分方程边值问题理论及应用
5. 广东省气象干旱图集
6. 混沌蚁群算法及应用
7. 混凝土侵入力学
8. 金佛山野生药用植物资源
9. 科普产业研究
10. 老年人心理健康研究报告
11. 农民工医疗保障水平及精算评价
12. 强震应急与次生灾害防范
13. “软件人”构件与系统演化计算
14. 西北区域气候变化评估报告
15. 显微神经血管吻合技术训练
16. 语言动力系统与二型模糊逻辑
17. 自然灾害与发展风险

中国科协三峡科技出版资助计划 2012 年第二期资助著作名单

(按书名汉语拼音顺序)

1. BitTorrent 类型对等网络的位置知晓性
2. 城市生态用地核算与管理
3. 创新过程绩效测度——模型构建、实证研究与政策选择
4. 商业银行核心竞争力影响因素与提升机制研究
5. 品牌丑闻溢出效应研究——机理分析与策略选择
6. 护航科技创新——高等学校科研经费使用与管理实务
7. 资源开发视角下新疆民生科技需求与发展
8. 唤醒土地——宁夏生态、人口、经济纵论
9. 三峡水轮机转轮材料与焊接
10. 大型梯级水电站运行调度的优化算法
11. 节能砌块隐形密框结构
12. 水坝工程发展的若干问题思辨
13. 新型纤维素系止血材料
14. 商周数算四题
15. 城市气候研究在中德城市规划中的整合途径比较
16. 管理机理学——管理学基础理论与应用方法的桥梁
17. 心脏标志物实验室检测应用指南
18. 现代灾害急救
19. 长江流域的枝角类

发行部

地址：北京市海淀区中关村南大街 16 号

邮编：100081

电话：010-62103354

办公室

电话：010-62103166

邮箱：kxsxcb@ cast. org. cn

网址：http://www. cspbooks. com. cn



北航

C1722867

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 互联网的发展现状	1
1.1.1 互联网发展速度	1
1.1.2 网络接入方式	2
1.1.3 网络应用类型	3
1.2 P2P网络的发展现状	4
1.2.1 P2P网络流量	5
1.2.2 P2P网络的发展历史	6
1.2.3 P2P网络的应用	7
1.3 研究内容及创新点	11
1.3.1 BT网络中节点的实际网络位置分布的测量和研究	11
1.3.2 BT类型网络位置知晓性问题的研究	11
1.3.3 BT类型网络位置知晓性的数学建模和理论分析	12
1.3.4 BT网络内容缓存服务系统的设计和实现	12
1.3.5 具有位置知晓性的多源文件传输算法的设计和实现	12
1.4 内容结构	13
第2章 背景知识	14
2.1 P2P网络的分类	14
2.1.1 非结构化分布式P2P网络	15
2.1.2 结构化分布式P2P网络	15
2.1.3 混合型网络	20
2.2 P2P网络的近期研究	22

2.2.1 国外的近期研究	22
2.2.2 国内的近期研究	30
2.3 本章小结	36
第3章 BT 网络节点的实际网络位置分布的测量和研究	38
3.1 前言	38
3.2 BitTorrent 原理	39
3.3 P2P 网络测量的相关研究	41
3.4 BT 网络测量软件的设计和实现	45
3.4.1 “爬行者”模块	45
3.4.2 IP 地址地理位置映射模块	48
3.4.3 log 日志模块	56
3.4.4 功能验证	57
3.5 测量试验的建立和数据分析	58
3.5.1 节点的实际网络位置分布	59
3.5.2 在线节点个数的时间分布规律	60
3.5.3 不同网络区域同时在线的节点个数统计	62
3.5.4 各类 BT 客户端的使用排名	64
3.6 本章小结	65
第4章 BT 类型网络的位置知晓性问题研究	66
4.1 前言	66
4.2 P2P 网络位置知晓性的相关研究	67
4.2.1 非结构化的分布式 P2P 网络	67
4.2.2 结构化的分布式 P2P 网络	68
4.3 BT 类型网络的位置知晓性问题	70
4.3.1 BT 类型网络的位置知晓性问题的特殊性	70
4.3.2 验证试验	71
4.3.3 测量数据的其他分析	74
4.4 本章小结	77

第5章 BT 类型网络位置知晓性的建模和分析	79
5.1 前言	79
5.2 相关研究	80
5.3 数学建模和理论分析	87
5.3.1 模型建立	87
5.3.2 具有理想位置知晓性的多源文件传输策略	89
5.3.3 具体传输过程的分析	91
5.3.4 讨论	97
5.4 本章小结	107
第6章 BT 网络内容缓存服务系统的设计和实现	108
6.1 前言	108
6.2 相关研究	109
6.3 设计原理	111
6.3.1 BT 网络流的特征	111
6.3.2 网络流的监测机制	113
6.3.3 BT 客户端的文件下载机制	116
6.4 BT 网络内容缓存系统的设计和实现	117
6.4.1 组成设备	117
6.4.2 部署方案	124
6.4.3 验证和分析	125
6.5 本章小结	127
第7章 具有位置知晓性的多源文件传输算法的设计和实现	128
7.1 前言	128
7.2 相关研究	128
7.2.1 基于转发机制	129
7.2.2 基于集群化	129
7.2.3 基于叠加层拓扑优化	131
7.2.4 基于缓存	131

7.3 节点网络位置的识别原理	132
7.4 算法设计和实现	133
7.4.1 节点集群划分	134
7.4.2 文件片可用度的计算	135
7.4.3 节点选择	137
7.4.4 节点上传速度的限定	139
7.4.5 文件片选择模块	144
7.5 验证试验	146
7.6 本章小结	150
结束语	151
参考文献	153
常用术语与缩略语解释	163
致 谢	165
索 引	166

第1章 绪论

1.1 互联网的发展现状

20 世纪计算机网络的研究与发展,特别是互联网(Internet)在全球的推广和应用,对世界科技、经济和社会产生了重大影响。互联网的发展始终保持着持续和稳定的增长态势。同时,随着 xDSL 技术的普及,用户的带宽增加迅猛,越来越多的网络游戏、在线视频/音频、即时通信、文件交互等业务被使用。而 P2P 网络技术被广泛地应用在这些业务中。2010 年,对等(P2P)网络产生的流量占据骨干互联网流量的 55%~70%,而其中前三位是基于多源传输机制(MTP, multi-source transmission protocol)的 P2P 网络(BitTorrent、迅雷和 eDonkey)^[1]。

1.1.1 互联网发展速度

2012 年的中国互联网络发展状况统计报告^[2]显示,截至 2012 年 12 月底,我国的网民^①总数为 5.64 亿人,与 2011 年同期相比分别增长了 3.8%,同 1997 年 10 月第一次调查结果 62 万网络用户人数相比,现在的网络用户人数已是当初的 909.7 倍,如图 1-1 所示。

我国网民总数快速增长,达到了 5.64 亿,互联网人口普及率达到 42.1%。而据统计,2009 年 1 月,日本互联网用户达到 9091 万,互联网人口普及率达 75.3%^[3]。2001 年 9 月,美国的互联网用户达到 1.43 亿,约占总人口的 54%。并且每个月有 200 多万的人加入网民的阵营,有超过一半的人口目前在线^[4]。根据英国国家统计局 2003 年 10 月的《国家统计综合调查》数据,有 64% 的英国成年人在调查前的一段时间内上过网。

① 我国的网民定义:平均每周使用互联网至少 1 小时的中国公民。

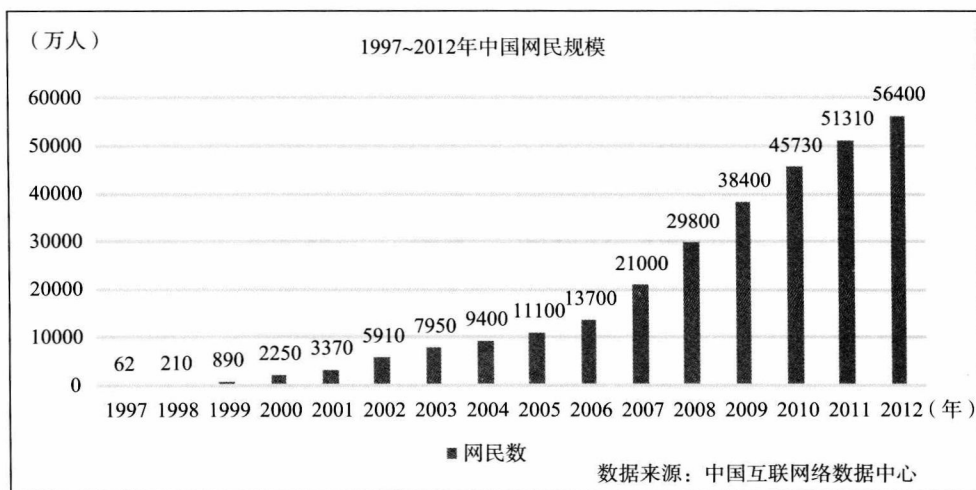


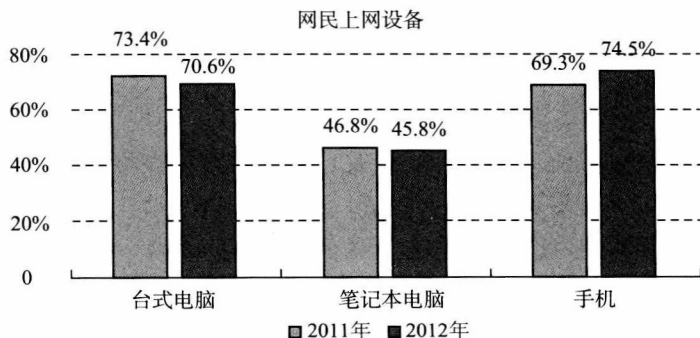
图 1-1 1997~2012 年中国调查的网络用户总数 (万人)

有 58% 的英国成年人在调查前的 3 个月内上过网^[5]。

以上数据说明，虽然我国网民总数增长很快，但网民/总人口的比例与发达国家相比仍然较低。这说明互联网的普及程度目前还较低，发展空间仍很大。

1.1.2 网络接入方式

随着通信技术的不断进步和普及，中国网民通过手机接入网络和在家中上网两种方式占据了越来越大的比例。2012 年年底，70.6% 的网民通过台式电脑上网，相比 2011 年年底下降了近 3%，如图 1-2 所示。通过笔记本电脑上网的网民



来源：中国互联网络发展状况统计调查

图 1-2 中国网民上网方式统计^[1]

比例与上年底相比略有降低，为45.8%。而因为智能手机的普及和无线网络的发展，手机上网的比例保持较快增速，从69.3%上升至74.5%。如图1-3所示，91.7%的网民在家中上网。在网吧、学校机房等场所接入互联网的网民比例下降幅度较大，其中网吧网民占比下降了5.5%，在学校公共机房上网的网民占比下降了3%，这些提供公共上网设施的场所使用率逐年下降，是个人上网设备持有比例提升和网络接入条件改善的结果^[2]。

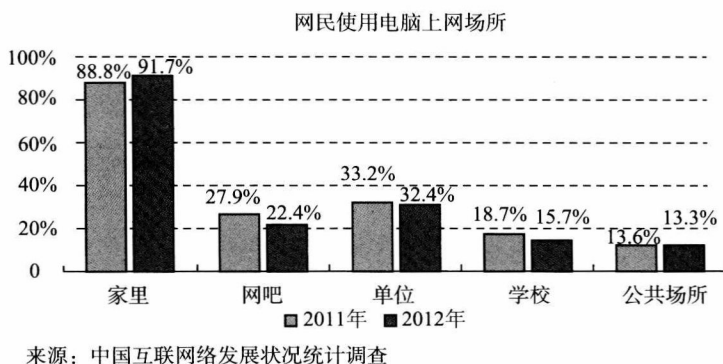


图1-3 中国网民的上网场所统计^[1]

在美国，据联邦通信委员会（FCC）报告说^[4]，2000年12月底宽带接入用户分布到了75%的国家邮政编码区域，而在1999年，这一数字仅为56%。高速接入订户在高人口密度邮政编码区域中的分布率达到了97%，而在低人口密度的邮政编码区域中的分布率只有45%。

在英国，据《国家统计局综合调查》显示^[5]，2003年10月，73%的英国家庭拥有一条拨号上网连接线，有1/4的家庭接入了宽带。截至2003年11月，英国国内的宽带用户已经超过300万。这一数字是2002年同期的两倍多，与2001年10月仅有18万用户利用宽带上网相比有了大幅度的增长。宽带在英国的普及率已增至人口的80%。28%的企业利用宽带上网。ADSL和有线宽带仍是占主导地位的宽带技术，分别有78%和45%的人口利用这两种连接方式。

通过与这些发达地区和国家相比，我国内地的宽带接入方式仍有很大的发展余地。宽带接入的发展和网民使用宽带的目的，决定了网络服务业务的发展趋向，会有越来越多的网络游戏、在线视频/音频、文件交互等业务被使用。

1.1.3 网络应用类型

至今，网民经常使用的互联网应用主要是即时通信、搜索引擎、网络音乐、博客、

网络视频、网络游戏、电子商务、收发邮件等,其中电子商务、在线视频和音频等多媒体娱乐服务被越来越多地使用。据统计^[2],2012 年国内“即时通信”的用户达到 4.6 亿,用户使用率为 82.9%;搜索引擎的用户达到 4.5 亿,用户使用率为 80.0%;网络音乐和网络视频的用户使用率则分别为 77.3% 和 65.9%。其中,即时通信的用户数量和用户使用率都位于首位。位于第二位的搜索引擎,作为互联网的基础应用,是获取信息的重要工具,其使用率自 2010 年后保持在 80% 左右水平,已进入稳定发展阶段。网络视频用户达到 3.72 亿,较去年底增加了 4653 万人,增长率为 14.3%。

手机上网的主要应用是即时通信和网络视频。手机即时通信中逐渐加入短信、图片、语音和视频等交互元素及地理位置定位、二维码扫描等功能,逐渐从单纯的聊天工具向综合化平台方向发展,吸引了越来越多手机网民,“在线”成为一种常态。截至 2012 年年底,我国在手机上使用在线收看或下载视频的网民数为 1.3 亿,在手机网民中的使用率为 32.0%,成为新亮点。一方面是因为 3G、Wi-Fi 等高速网络接入,为手机视频的发展提供基础,使手机视频受流量限制减少;另一方面,智能手机屏幕的加大和手机高清视频 APP 的推出,提高了手机视频观看体验。

从统计结果中可以看到,即时通信、网络视频等应用服务占据了相当大的使用比例。而这些网络应用大量使用了 P2P 网络,比如被广泛使用的即时通信软件 QQ、在线视频播放软件 Qvod、网络电话软件 Skype 等。这些软件被大量用户所使用,产生了巨大网络流量。

从我国互联网络发展的情况来看,互联网普及率、宽带接入比例相比发达国家还存在一定差距;宽带的实际速率与国外先进水平相差很大。因此,发展需求还将继续保持较大增长率,对网络基础设施和网络性能的需求也有比较明显的增长趋势。同时,大量即时通信、多媒体业务、文件传输的新型网络服务被越来越多的应用。而这些网络服务多与 P2P 网络紧密联系在一起。

1.2 P2P 网络的发展现状

P2P (Peer-to-Peer) 网络,被叫作对等网络或对等计算,是一种有别于传统 C/S (客户端/服务器) 模式的分布式网络。传统的 C/S 网络模式,需要在网络中设置拥有强大处理能力和大带宽的高性能服务器,大量数据集中存放在服务器上,为互联网上的其他 PC 客户端提供服务。而在 P2P 网络中,所有计算机都处于对等地位,每台计算机既能充当客户端,又能作为服务器向其他计算机提供资源与服务。整个网络体系弱化了专用集中式服务器的作用,甚至不需要集中式服务器。目前,P2P 的应用领域可分为文件共享、通信和协同计算 3 个领域。如 SETI@HOME 项目^[6]将分布于世界各地的 200 万台个人电脑组成计算机阵列,搜索射电天文望远镜信号中的外星文明迹象。

项目组称，在不到两年的时间里已经完成了单台计算机 345000 年的计算量。随着大规模计算、存储资源的海量发展以及网络日益增长的连通性，P2P 网络将会获得更广泛的应用。

1.2.1 P2P 网络流量

虽然被经常使用的前 3 位网络服务是浏览新闻、搜索引擎、收发邮件，但对于网络运营商来说互联网流量中占据主要地位的不是这些传统业务，而是 P2P 网络产生的网络流量。仅 2004 年，CacheLogic 机构采用自己开发的流量采集和 7 层分析工具，对欧洲顶级 ISP 骨干网的流量进行了统计^[7]。统计报告显示，P2P 流量占据了大于 60% 的 ISP 总流量，远远超过了传统网络业务产生的流量，如图 1-4 所示。

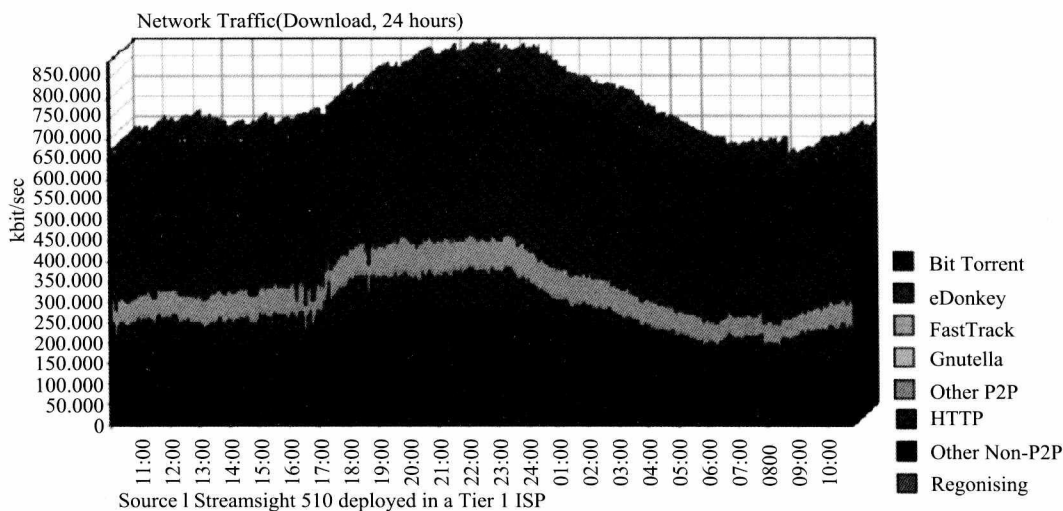


图 1-4 欧洲顶级 ISP 骨干网的下行方向流量统计^[7]

国内的网络流量观测^[1,8]也得到相似的结论，如图 1-5 所示。这是对一个典型网络出口流量的分析，可以看到当前国内网络流量主要的应用成分为 P2P 流量，HTTP 流量、FTP 及其他知名应用流量（Generic）所占比例很少。

P2P 网络不仅产生了巨大的网络流量，同时也拥有庞大的用户群。据统计^[7]，75% 的欧洲宽带用户每个月都使用 P2P 网络。3500 万欧洲人通过 P2P 文件共享服务来下载音乐。任何时刻涌入主要的 P2P 网络的人数大约有 800 万，共享超过 1000 万 GB 的数据，将近世界上 10% 的宽带连接。在为期 30 天的一个单独的 CacheLogic 设备的观测中，有 350 万 IP 地址使用了 P2P。

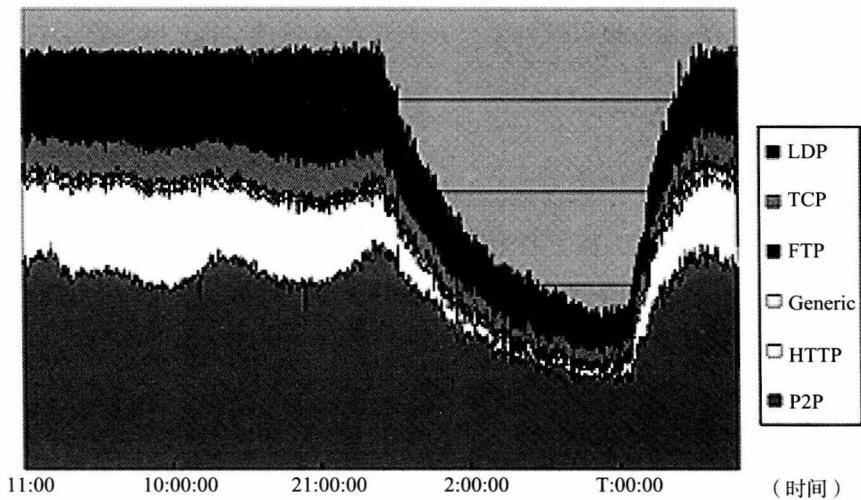


图 1-5 国内典型网络出口的流量分析^[8]

1.2.2 P2P 网络的发展历史

P2P 网络通常按类型和发展分为 4 类。

1.2.2.1 第一代 P2P 网络

第一代 P2P 网络以 Napster 为代表，采用集中式中央服务器管理的网络结构。此类 P2P 网络上的中央服务器负责搜索用户共享的音乐文件，把所有的音乐文件的地址存放在服务器中供用户检索。这样，用户可以方便快捷地在服务器上寻找到所需文件的地址，然后去该地址对应的节点上下载。Napster 公司由 19 岁的肖恩·范宁创立于 1999 年，专门提供免费交换 MP3 音乐的服务，并允许用户免费下载音乐作品。鼎盛时期的 Napster 有 100 多台服务器和 5000 万用户，分享近 200 万首免费的 MP3 音乐文件。用户下载、安装和注册 Napster 客户端后，输入要搜索歌曲的关键词，如歌名或歌手名字。搜索信息被发送到 Napster 的中央服务器，查询其中的音乐清单档案并将拥有该歌曲文件的计算机地址和文件信息返回给查询者。查询者再直接与拥有该文件的计算机建立连接和下载。Napster 并不参与任何歌曲文件的复制和传输。

但采用集中式服务器的 P2P 模式存在很多问题：中央服务器的瘫痪将导致整个网络的崩溃，可靠性和安全性降低；随着网络规模的扩大，中央服务器的维护和更新费用将急剧增加，成本高；中央服务器的存在引起共享资源的版权纠纷，这直接导致了 2002 年 Napster 的破产。在吸取了 Napster 的失败教训后，P2P 网络发展到第二代。