



网络技术实用丛书 **Practical Network Technology**

P2P 网络技术原理 与系统开发案例

■ 杨天路 刘宇宏 张文 原毅强 龙紫薇 魏小康 编著

**Technology Principle and
System Development**

- 全面、深入、详细、系统地讲解P2P网络原理与系统开发
- Python语言的网路开发方法与JXTA框架的设计方法并重
- 作者的项目实践经验之精华所在,参考价值高



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

网络技术实用丛书 Practical Network Tec

P2P

网络技术原理 与系统开发案例

■ 杨天路 刘宇宏 张文 原毅强 龙紫薇 魏小康 编著

Technology Principle and
System Development

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

P2P 网络技术原理与系统开发案例/杨天路等编著. —北京: 人民邮电出版社, 2007.6

ISBN 978-7-115-15977-9

I. P... II. 杨... III. 因特网—基本知识 IV. TP393.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 039500 号

内 容 提 要

随着 P2P 网络的飞速发展, P2P 网络技术已经逐渐成为当今 IT 技术领域研究与应用的热点。本书通过基础理论篇与开发实践篇两个部分的讲解使读者对此技术有全面的了解。

基础理论篇对 P2P 网络的定义、典型的网络拓扑结构、应用与研究现状以及当今 5 种主流的 P2P 系统分别进行了介绍; 通过与传统的搜索技术相比较, 分析了 P2P 搜索技术的原理; 对 P2P 特有的网络穿越技术进行了深入剖析; 对 P2P 技术所涉及的安全问题逐一进行了分析。

开发实践篇介绍了 Python 语言及 JXTA, 作为从事开发工作必要的基础知识, 并给出了文件共享系统、全文检索系统、即时消息系统、多媒体通信系统等多个系统的开发实例。

作为一本详细介绍并涉及 P2P 各热点研究方向的书籍, 本书涵盖了 P2P 技术的基本概念、研究方向与主要研究热点, 并给出了丰富的开发实例供读者参考。本书可供广大从事 P2P 网络技术工作的研发人员和工程技术人员阅读参考, 同时也可作为高等院校通信类、网络类、信息类、计算机类、电子类专业高年级本科生和研究生学习 P2P 技术的书籍。

网络技术实用丛书

P2P 网络技术原理与系统开发案例

- ◆ 编 著 杨天路 刘宇宏 张 文 原毅强 龙紫薇 魏小康
责任编辑 刘 洋
 - ◆ 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 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
新华书店总店北京发行所经销
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 20.5
字数: 491 千字
印数: 1—4 000 册
- 2007 年 6 月第 1 版
2007 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-15977-9/TN

定价: 39.80 元

读者服务热线: (010) 67129258 印装质量热线: (010) 67129223

Forward

前言

近几年来,基于 P2P 网络技术的网络应用迅速发展起来。最初,以 BT、Emule 等为代表的 P2P 网络下载软件,创造了飞速下载的纪录,较之以往的网络下载技术有了巨大的飞跃。近一两年,以 PPtlive 等为代表而火热发展的网络视频技术依然离不开 P2P 网络的应用。许多调查显示,在因特网的流量中,有超过 50% 的流量来自于 P2P 软件的使用。这些使得 P2P 技术在普通的因特网用户中引起了极大的反响,从而为其带来了广泛的关注。

然而, P2P 技术的应用绝不仅限于此。研究人员认为 P2P 技术的应用将使网络上的资源得到充分利用和最大化的共享。P2P 技术在实时通信、协同工作、内容分发以及分布式计算等多个领域得到了应用。甚至有人认为, P2P 与其说是一种技术,更不如说是一种思想,有着改变整个因特网模式的思想。它的一个重要特点就是改变因特网现在的以大网站为中心的状态,重返“非中心化”,并把资源共享的权力交还给用户。

目前,国内外已经从多个角度展开了对 P2P 技术的研究与应用,例如 P2P 路由寻址技术、P2P 文件共享技术、P2P 多媒体应用技术、P2P 流量监控技术及 P2P 安全技术等。自 2002 年起,美国国家科学基金会(NSF)提供了 1200 万美元的资金启动了一个为期 5 年的研究项目 IRIS,该项目集中了 MIT 和 UC Berkeley 等 5 所著名高等院校的强大科研力量,为下一代大规模分布式应用研制基于 DHT 的新型基础设施。

基于 P2P 的网络应用系统容量大、扩散性强、计算资源利用率高,这些优点吸引了众多的研究人员和系统开发人员,以及大量对 P2P 网络技术感兴趣的工程技术人员。目前关于 P2P 技术的英文书籍与论文很多,中文的相关资料却相对匮乏,而这正是作者撰写本书的最重要原因之一。本书采用由浅入深以及技术原理与典型系统开发分析相结合的方式,向每一位对 P2P 技术感兴趣的读者全面地介绍这一热门的研发领域。

本书分为基础理论篇与开发实践篇两个部分。

基础理论篇(从第 1 章至第 5 章)介绍了 P2P 网络的基本概念、网络结构、主流 P2P 应用系统架构、常见的路由搜索算法、网络穿越、安全通信等 P2P 网络设计的关键问题,学习这些内容可使读者基本掌握 P2P 网络理论,并为后续学习开发过程和系统分析扫除障碍。

开发实践篇（从第 6 章至第 11 章）是全书的重点。这部分内容通过分析现有 P2P 系统的实现，详细讲解了 Python 语言的网路开发方法和 JXTA 框架的设计方法，并深入讲解了文件共享、即时通信和视频点播等 P2P 业务应用的开发方法，给出了丰富的开发实例。

作者结合自己在 P2P 领域的研发经历和大量的国内外参考文献完成本书。由于 P2P 网络技术所涉及的知识面极为广泛，而且技术的发展日新月异，加上作者学识水平有限，因此书中难免出现错误和纰漏，希望广大读者批评指正。

作者

2007 年 2 月于北京

CONTENTS

目 录

基础理论篇

第1章 P2P 基本概念	3
1.1 P2P 网络的定义	3
1.2 P2P 网络结构	4
1.2.1 集中式 P2P 网络	4
1.2.2 完全分布式非结构化 P2P 网络	5
1.2.3 完全分布式结构化 P2P 网络	6
1.2.4 混合式 P2P 网络	7
1.2.5 P2P 网络 and 传统网络的对比	8
1.3 P2P 网络的应用	9
1.4 P2P 的发展	11
1.4.1 起步	11
1.4.2 发展	11
1.4.3 高峰	11
1.5 国内外 P2P 技术的研究现状	12
1.5.1 国外相关研究	12
1.5.2 国内研究现状	12
1.6 本章总结	13
1.7 练习题	13
第2章 主流 P2P 系统	15
2.1 文件共享类系统	15
2.1.1 Napster	15
2.1.2 Gnutella	17
2.1.3 BitTorrent	18
2.1.4 eMule	20
2.1.5 Maze	22
2.2 即时通信类系统	24

2.2.1	Skype	24
2.2.2	QQ	27
2.2.3	GTalk	28
2.3	流媒体类系统	29
2.3.1	AnySee	29
2.3.2	PPLive	31
2.4	共享存储类系统	32
2.4.1	OceanStore 系统	32
2.4.2	Granary	33
2.5	对等计算类系统	35
2.6	本章总结	36
2.7	练习题	36
第 3 章	P2P 网络的基础——搜索和路由算法	37
3.1	传统搜索技术	37
3.2	P2P 搜索技术的发展	38
3.3	DHT 网络（结构化 P2P 网络）的搜索技术	40
3.3.1	DHT 路由原理	40
3.3.2	Chord	41
3.3.3	Pastry	45
3.3.4	CAN	47
3.3.5	Tapestry	49
3.3.6	小结	51
3.4	非结构化 P2P 网络的搜索技术	52
3.4.1	Flooding	52
3.4.2	Modified-BFS	53
3.4.3	Iterative Deepening	53
3.4.4	Random Walk	55
3.4.5	Query Routing	56
3.4.6	Gnutella2	57
3.4.7	移动 Agent	58
3.4.8	小结	59
3.5	小世界（Small World）模型	59
3.5.1	小世界模型的引入	59
3.5.2	小世界网络拓扑	60
3.5.3	小世界网络的研究现状	61
3.6	P2P 搜索技术研究的挑战	61
3.7	本章总结	62
3.8	练习题	62

第4章 P2P 网络穿越	64
4.1 Middlebox 与网络穿越	64
4.1.1 Middlebox 概述	64
4.1.2 Middlebox 的种类	65
4.2 穿越 NAT 网络	65
4.2.1 NAT 网络概念	65
4.2.2 STUN 协议与 NAT 穿越	71
4.2.3 UDP 穿越 NAT	74
4.2.4 TCP 穿越 NAT	75
4.2.5 NAT 类型检测	76
4.2.6 常见 NAT 穿越解决方案	79
4.3 本章总结	81
4.4 练习题	81
第5章 P2P 与网络安全	82
5.1 P2P 网络引发的安全问题	82
5.1.1 P2P 网络所引发的版权问题	82
5.1.2 P2P 网络对现有网络应用的威胁	84
5.2 P2P 网络面临的安全问题	84
5.2.1 P2P 网络与传统网络在安全方面的区别	85
5.2.2 P2P 网络病毒与蠕虫病毒	85
5.2.3 DHT 安全	86
5.2.4 P2P 网络安全技术	91
5.3 利用 P2P 网络解决安全问题	95
5.3.1 利用 P2P 网络的匿名通信系统	96
5.3.2 利用 P2P 网络防御 DDoS 攻击	99
5.4 Skype 的安全性分析	101
5.4.1 Skype 简介	101
5.4.2 Skype 安全机制分析	106
5.4.3 Skype 流量识别	110
5.5 本章总结	111
5.6 练习题	111

开发实践篇

第6章 Python 语言开发基础	115
6.1 Python 语言概述	115
6.1.1 Python 的发展历史	115

6.1.2	Python 的特性	116
6.1.3	Python 的功能	116
6.2	安装和使用 Python 解释器	116
6.3	Python 集成开发环境	118
6.4	基本数据类型和结构	119
6.4.1	列表	119
6.4.2	元组	120
6.4.3	字典	120
6.5	流程控制语句	121
6.5.1	if 语句	121
6.5.2	for 语句	121
6.5.3	while 语句	122
6.5.4	break、continue 和 pass	122
6.6	函数的实现方法	123
6.7	类的使用	125
6.7.1	类的定义	125
6.7.2	类的继承	126
6.8	使用包组织程序	126
6.9	实现多线程程序	126
6.9.1	线程状态	127
6.9.2	线程对象	127
6.9.3	线程同步	128
6.10	网络编程实现与应用	131
6.10.1	Socket 编程	131
6.10.2	网络编程库	133
6.11	用户界面编程基础	134
6.12	异常处理	135
6.13	文件处理	136
6.14	调试 Python 程序	137
6.14.1	使用 IDLE 调试程序	137
6.14.2	Pdb 调试模块	139
6.14.3	使用 print 语句	141
6.15	本章总结	141
6.16	练习题	141
第 7 章	JXTA 开发基础	142
7.1	JXTA 简介	142
7.1.1	为什么选择 JXTA	142
7.1.2	JXTA 是什么	143

7.2	JXTA 的平台结构	143
7.2.1	总体描述	143
7.2.2	JXTA 的组件	144
7.2.3	JXTA 结构的关键特征	144
7.3	JXTA 的基本概念	145
7.3.1	对等点	145
7.3.2	点组	145
7.3.3	网络服务	146
7.3.4	模块	147
7.3.5	管道	148
7.3.6	双向可靠通信信道 (JxtaSocket, JxtaBiDiPipe)	149
7.3.7	消息	150
7.3.8	通告	150
7.3.9	安全	154
7.3.10	ID	154
7.4	JXTA 的网络架构	155
7.4.1	组织形式	155
7.4.2	分布式共享资源索引 (SRDI)	155
7.4.3	查询过程	156
7.4.4	防火墙和 NAT	157
7.4.5	JXTA 协议	158
7.5	JXTA 开发环境	160
7.5.1	安装 JDK	160
7.5.2	安装 NetBeans	163
7.5.3	安装 JXTA 开发库	164
7.6	JXTA 开发入门	164
7.6.1	HelloWorld	164
7.6.2	创建和加入点组	172
7.6.3	使用管道进行通信	177
7.6.4	JXTA 套接字	188
7.7	本章总结	195
7.8	练习题	196
第 8 章	P2P 文件共享系统开发	197
8.1	P2P 文件共享概述	197
8.2	BitTorrent 文件共享系统实现分析	197
8.2.1	BitTorrent 协议分析	198
8.2.2	BitTorrent 下载部署	200
8.2.3	BitTorrent 种子文件分析	205

8.2.4	Tracker 服务器实现	208
8.2.5	BitTorrent 客户端实现	209
8.3	使用 Python 实现 P2P 文件共享	210
8.3.1	系统设计	210
8.3.2	命令处理	210
8.3.3	共享文件列表	211
8.3.4	文件传输模块	211
8.3.5	实现代码分析	211
8.4	本章总结	216
8.5	练习题	217
第 9 章	P2P 全文检索系统的设计与实现	218
9.1	系统目标	218
9.1.1	系统背景	218
9.1.2	系统建设目标及原则	219
9.1.3	软件支撑环境	219
9.1.4	功能性目标	220
9.1.5	性能性目标	221
9.2	系统原理	222
9.2.1	本地关键字处理	223
9.2.2	P2P 网络路由	229
9.3	系统设计	234
9.3.1	静态模型	234
9.3.2	动态模型	238
9.3.3	接口设计	242
9.4	程序示例	242
9.4.1	虚节点路由表的接口函数	242
9.4.2	虚节点路由表的代码实现	243
9.5	系统分析	263
9.5.1	系统的扩展性	263
9.5.2	系统安全性分析	263
9.5.3	虚节点内部的路由机制问题	264
9.6	本章总结	265
9.7	练习题	266
第 10 章	使用 JXTA 设计 P2P 即时消息系统	267
10.1	即时通信系统简介	267
10.1.1	即时通信系统的起源及发展	267
10.1.2	即时通信系统结构分析	268

10.2	用 JXTA 开发即时通信系统	269
10.3	XCHAT 系统设计	269
10.3.1	模块设计	269
10.3.2	协议设计	270
10.4	XCHAT 系统实现	270
10.4.1	本地好友列表的实现	270
10.4.2	好友信息维护模块的实现	271
10.4.3	用户界面模块的实现	277
10.4.4	信息发送模块的实现	284
10.5	本章总结	288
10.6	练习题	288
第 11 章	P2P 与多媒体通信	289
11.1	VoIP 通信基础	289
11.1.1	VoIP 系统概念	289
11.1.2	H.323 协议	291
11.1.3	SIP 协议	292
11.1.4	RTP 协议	294
11.1.5	RTSP 协议	294
11.2	P2P 和 SIP 的结合	295
11.2.1	P2P 和 SIP 结合方案分析	296
11.2.2	基于 Pastry 设计 P2P-SIP 系统	299
11.2.3	P2P-SIP 系统的安全问题	302
11.3	P2P 流媒体系统概念	304
11.3.1	流媒体内容发布网络技术	304
11.3.2	P2P 流媒体系统概述	305
11.3.3	P2P 流媒体系统架构	305
11.3.4	目前现有系统	306
11.4	流媒体技术	306
11.5	设计 P2P 音视频点播系统	307
11.5.1	多媒体数据压缩	307
11.5.2	应用层 QoS	307
11.5.3	应用层多播技术	307
11.5.4	流媒体同步技术	308
11.5.5	PeerCast 实现分析	308
11.5.6	改造 BitTorrent 成为流媒体系统	312
11.6	本章总结	312
11.7	练习题	312



基础理论篇

CHAPTER 1

第 1 章

P2P 基本概念

要认识和理解 P2P 网络，就要理解 P2P 网络理论中的基本概念，这些概念和传统的客户端/服务器网络的基本概念有很大的区别。

在学习了本章后，希望读者能够掌握以下几点：

- (1) P2P 网络的概念和定义；
- (2) P2P 网络的基本结构；
- (3) P2P 网络的应用和发展。

1.1 P2P 网络的定义

P2P (Peer to Peer) 即对等计算或对等网络，通常简称为 P2P，可以简单地定义成通过直接交换来共享计算机资源和服务。在 P2P 网络环境中，成千上万台彼此连接的计算机都处于对等的地位，整个网络一般来讲不依赖于专用的集中服务器。网络中的每一台计算机既能充当网络服务的请求者，又能对其他计算机的请求做出响应，提供资源与服务。通常这些资源和服务包括：信息的共享与交换、计算资源（如 CPU 的共享）、存储资源（如缓存和磁盘空间的使用）等。

对于 P2P 概念的一种解释是 P2P 即 Peer to Peer。而 Peer 在英语里是“（地位、能力等）同等者”、“同事”和“伙伴”的意思。因此，P2P 也就可以理解为“端对端”的意思，或称为对等联网。

对于 P2P 的定义，不同的机构有着不同的理解，每种理解方式在本质上并不矛盾，都是从不同的侧面揭示了 P2P 网络的特点。本书仅列出比较典型的 5 种定义，如表 1-1 所示。

表 1-1

P2P 多种定义

定义者	定义
Intel 工作组	通过在系统之间直接交换来共享计算机资源和服务的一种应用模式
A.Weytsel	在因特网周边以非客户地位使用的设备
R.I.Granham	通过 3 个关键条件定义： ① 具有服务器质量的可运行计算机；

续表

定 义 者	定 义
	② 具有独立于 DNS 的寻址系统; ③ 具有与可变连接合作的能力
C.Shirky	利用因特网边界的存储/CPU/内容/现场等资源的一种应用; 访问这些非集中资源意味着运行在不稳定连接和不可预知 IP 地址环境下, P2P 节点必须运行在 DNS 系统外边; 具备有效或全部的自治
Kindberg	独立生存的系统
D.J.Milojicic	给对等组提供或从对等组获得共享

1.2 P2P 网络结构

1.2.1 集中式 P2P 网络

集中式 P2P 网络形式上有一个中心服务器来负责记录共享信息以及回答对这些信息的查询。每一个对等实体对它将要共享的信息以及进行的通信负责, 根据需要下载它所需要的其他对等实体上的信息。这种形式具有中心化的特点, 但是它不同于传统意义上的 Client/Server (客户端/服务器) 模式。传统意义上的 Client/Server 模式采用的是一种垄断的手段, 所有资料都存放在服务器上, 客户机只能被动地从服务器上读取信息, 并且客户机之间不具有交互能力。其典型结构如图 1-1 所示。而集中式 P2P 网络则是所有网上提供的资料都分别存放在提供该资料的客户机上, 服务器上只保留索引信息, 此外服务器与对等实体以及对等实体之间都具有交互能力。

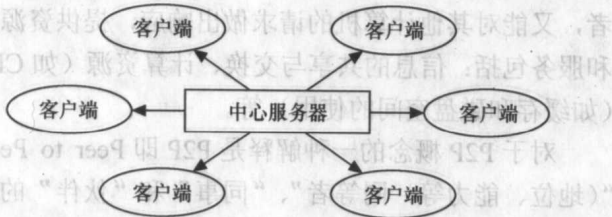


图 1-1 传统的客户端/服务器网络结构

采用集中式 P2P 形式的软件被称为第一代 P2P, 其代表性的软件为 Napster。Napster 的系统结构图如图 1-2 所示。

这种形式有一个中央服务器, 为用户提供共享和搜索文件服务。这就要求有一个连续运转的服务器, 并且一旦该服务器被关闭, 整个网络就会停止运行。此外, 这样的服务器必须能够处理大量的用户连接, 拥有足够的内存和磁盘空间来维护和搜索文件列表。虽然 Napster 流行一时, 但是由于通过这个软件, 大量的有版权的资料可以在网上轻易的获得, 导致不久就被 RIAA (Recording Industry Association of America, 美国唱片工业协会) 告上法庭, 最终的判决结果是 Napster 停止运行, 现在 Napster 已经停止运行了。之所以会有这样的结果是因

为 Napster 的运行依赖于一个用来索引用户文件具有公司所有权的中心服务器。尽管 Napster 的使用与侵权、盗版等名词联系在一起,但我们不能因此就忽视 Napster 这一新兴领域所具有的潜力和广阔的应用前景,而阻止这一技术进步。为了解决由于外界的压力而有可能导致系统停止运行的问题,于是产生了基于分布式的 P2P 形式。

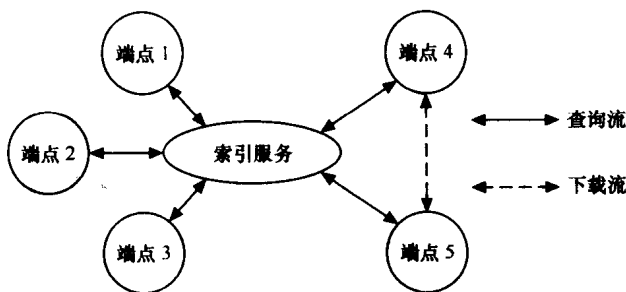


图 1-2 集中式 P2P 网络架构 (Napster)

1.2.2 完全分布式非结构化 P2P 网络

完全分布式非结构化拓扑的 P2P 网络采用了随机图的组织方式来形成一个松散的网络,其典型网络结构如图 1-3 所示。这种结构对网络的动态变化有较好的容错能力,因此具有较好的可用性。同时,这种结构支持复杂查询,比如带有规则表达式的多关键字查询、模糊查询等。完全分布式非结构化拓扑的 P2P 网络的典型代表是 Gnutella。

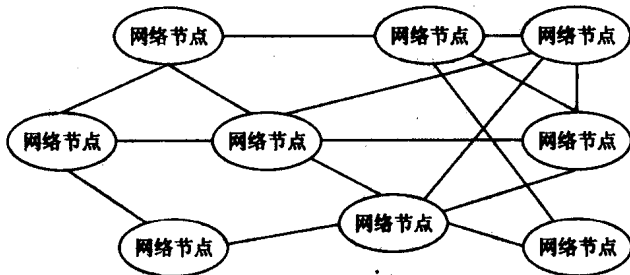


图 1-3 典型的分布式非结构化 P2P 网络

Gnutella 是一个 P2P 文件共享系统,它和 Napster 的最大区别是 Gnutella 没有中心服务器,它采用了完全随机图的洪泛式搜索和随机转发机制。为了控制搜索消息的传输,Gnutella 网络采用类似 IP 数据包中 TTL 的机制来决定是否继续转发消息。Gnutella 的查询流程如图 1-4 所示。

在完全分布式非结构化拓扑的 P2P 网络模型中,每个节点都具有相同的功能,既是客户机又是服务器,因而节点也被称为对等点。

这种拓扑的优点是网络配置简单,不需要服务器的支持,在网络规模较小的时候具有很高的查询效率。但由于在这种拓扑的网络中多采用洪泛方式查询和定位资源,随着联网节点的增加,网络规模不断增大,从而给网络中带来了沉重的网络负载。而且由于没有确定的拓