

信息科学技术学术著作丛书

对等网络的拓扑结构及数据 驱动路由方法

郭得科 朱晓敏 周晓磊 刘 忠 著



科学出版社

信息科学技术学术著作丛书

对等网络的拓扑结构及数据 驱动路由方法

郭得科 朱晓敏 周晓磊 刘忠 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以结构化对等网络的可扩展拓扑结构为基础,深入地探讨一些新型的网络拓扑结构的设计与优化方法,并通过引入数据驱动路由机制解决非结构化对等网络的低延迟和低成本资源定位问题。第1章和第2章介绍对等网络的应用和发展现状。第3章~第6章阐述四种新型的常量度数互联结构以提高结构化对等网络的系统能力,分别是 MOORE、BAKE、KCube 和 KMcube。第7章~第10章讨论非结构化对等网络的数据驱动路由问题,分别介绍基于 BF 的全状态概率路由机制、基于 BF 的弱状态概率路由机制、基于 BF 的索引路由机制,以及数据驱动路由中的噪声干扰抑制问题。

本书可作为高等院校计算机专业、软件工程专业、信息系统专业以及其他相近专业的教材或教学参考书,也可供对应专业的研究人员和工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

对等网络的拓扑结构及数据驱动路由方法/郭得科等著. —北京:科学出版社,2018.5

(信息科学技术学术著作丛书)

ISBN 978-7-03-056903-5

I. ①对… II. ①郭… III. ①计算机网络-网络拓扑结构②计算机网络-数据处理 IV. ①TP393

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 049608 号

责任编辑:张艳芬 王 苏 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:张 伟 / 封面设计:蓝 正

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>

北京中石油彩色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

*

2018年5月第 一 版 开本:720×1000 B5

2018年5月第一次印刷 印张:14 1/2

字数:273 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《信息科学技术学术著作丛书》序

21 世纪是信息科学技术发生深刻变革的时代,一场以网络科学、高性能计算和仿真、智能科学、计算思维为特征的信息科学革命正在兴起。信息科学技术正在逐步融入各个应用领域并与生物、纳米、认知等交织在一起,悄然改变着我们的生活方式。信息科学技术已经成为人类社会进步过程中发展最快、交叉渗透性最强、应用面最广的关键技术。

如何进一步推动我国信息科学技术的研究与发展;如何将信息技术发展的新理论、新方法与研究成果转化为社会发展的推动力;如何抓住信息技术深刻发展变革的机遇,提升我国自主创新和可持续发展的能力? 这些问题的解答都离不开我国科技工作者和工程技术人员的求索和艰辛付出。为这些科技工作者和工程技术人员提供一个良好的出版环境和平台,将这些科技成就迅速转化为智力成果,将对我国信息科学技术的发展起到重要的推动作用。

《信息科学技术学术著作丛书》是科学出版社在广泛征求专家意见的基础上,经过长期考察、反复论证之后组织出版的。这套丛书旨在传播网络科学和未来网络技术,微电子、光电子和量子信息技术、超级计算机、软件和信息存储技术、数据知识化和基于知识处理的未来信息服务业、低成本信息化和用信息技术提升传统产业,智能与认知科学、生物信息学、社会信息学等前沿交叉科学,信息科学基础理论,信息安全等几个未来信息科学技术重点发展领域的优秀科研成果。丛书力争起点高、内容新、导向性强,具有一定的原创性,体现出科学出版社“高层次、高水平、高质量”的特色和“严肃、严密、严格”的优良作风。

希望这套丛书的出版,能为我国信息科学技术的发展、创新和突破带来一些启迪和帮助。同时,欢迎广大读者提出好的建议,以促进和完善丛书的出版工作。

中国工程院院士

原中国科学院计算技术研究所所长



前 言

对等网络是由众多互联网主机自发组织或依特定规则组织而成的分布式系统。单个主机的资源非常有限,但大量这类主机构成的对等网络则能提供非常丰富的资源和强大的服务能力。对等网络被广泛运用于很多领域,具有广阔的应用前景,也面临很多方面的技术挑战。以是否对拓扑结构和资源的组织方式施加约束规则为依据,对等网络分为结构化对等网络和非结构化对等网络两个基本研究方向。

结构化对等网络控制节点之间的邻居关系,即每个节点在选择邻居节点时遵循特定的规则。此外,结构化对等网络还对全部节点的资源实施全局层面的统一组织和存储,即并不是每个节点在本地组织和存储其拥有的资源,而是全部节点共同组织和存储加入网络的所有资源。在节点邻居规则和资源存储规则的支持下,结构化对等网络能非常高效地支持基于精确匹配的资源定位模式,并确保在确定的延迟内正确定位目标资源。结构化对等网络的拓扑性质是影响其系统性能的最关键因素,从拓扑优化的角度研究结构化对等网络是非常重要的研究思路。

非结构化对等网络没有明确的拓扑结构规则,并且仅要求对各个节点所拥有的资源进行本地组织和管理。每个参与节点以自组织的方式同其他一些节点建立邻居关系,通常最终形成一个随机网络。非结构化对等网络没有全局层面的资源组织机制,任何一个节点在定位一个网络资源时都不能仅仅根据本地信息推导出目标资源所在节点的信息。因此,在没有其他机制辅助的前提下,资源定位机制不能同时获得较低的定位延迟和少量的定位成本。为非结构化对等网络的资源定位问题设计能够同时满足低延迟和低成本的路由机制显得尤为重要。此时,数据驱动路由方法的研究是解决非结构化对等网络资源定位问题的关键。

作者围绕对等网络的上述两个重要研究方向,进行了一系列深入而系统的研究。本书以结构化对等网络的可扩展拓扑结构为基础,深入地探讨一些新型网络拓扑结构的设计与优化方法,并通过引入数据驱动路由机制解决非结构化对等网络的低延迟和低成本资源定位问题。书中绝大部分内容取材于作者及其团队近年来在国内外重要学术期刊和会议上发表的论文,全面系统地展示相关领域的很多新的研究成果和进展。

本书共 10 章,从结构上可分为三部分。

第一部分介绍对等计算及对等网络发展现状,包括第 1 章和第 2 章。第 1 章从起源和发展的角度详述对等计算模式的概念、对等网络系统的分类、对等网络系统的应用以及所面临的重大挑战。第 2 章对当前对等网络采用的网内数据存储和数据驱动路由机制进行详细介绍,分别介绍结构化对等网络、非结构化对等网络,以及混合对等网络的数据驱动路由机制。

第二部分是结构化对等网络的拓扑结构。结构化对等网络的拓扑性质是影响其系统性能的关键因素。本部分将论述四种独立设计的新型拓扑结构,分别是 MOORE 拓扑结构、BAKE 拓扑结构、KCube 拓扑结构、KMcube 拓扑结构。MOORE 和 BAKE 拓扑结构的网络直径和平均路由长度分别优于基于其他多机互联网络的结构化对等网络的对应指标。KCube 和 KMcube 拓扑结构采用混合图的设计理念,构造出能兼容多种拓扑结构优势的新结构。这部分内容包括第 3 章~第 6 章。

第 3 章介绍基于非正则 Kautz 图的常量度数结构化对等网络——MOORE。无论在静态环境还是动态环境中,MOORE 均能获得常量度数(节点的度数随着网络规模的增长一直固定不变)和 $O(\log N)$ 量级的网络直径。

第 4 章介绍支持任意节点规模的平衡 Kautz 树和 Kautz 环,并在此基础上设计一种新的结构化对等网络 BAKE,其继承了正则 Kautz 图的拓扑结构优势,并具有对数网络直径和常量节点度数。

第 5 章介绍基于复合图的常量度数结构化对等网络 KCube,其采用 Hypercube 结构作为单元簇,并依据 Kautz 有向图的拓扑结构实现诸多单元簇之间的规则互联。KCube 在继承 Hypercube 和 Kautz 图拓扑优势的同时也避免了各自的不足,因此拥有许多优良的网络拓扑性质,如模块化、可扩展性和规则性。

第 6 章介绍基于复合图的常量度数结构化对等网络 KMcube,其采用 Möbius “立方体”结构作为单元簇,并按照 Kautz 有向图的拓扑结构实现诸多单元簇之间的规则互联。KMcube 比 KCube 具有更小的网络直径,还可以支持并行计算机和数据中心的互联结构设计。

第三部分介绍非结构对等网络的数据驱动路由方法。由于拓扑结构的不确定性和资源对象放置的随意性,非结构化对等网络的资源定位机制难以同时获得较低的定位延迟和定位成本。数据驱动路由方法是解决上述非结构化对等网络问题的关键。本书依次论述四方面的问题,分别是基于 BF 的全状态概率路由、基于 BF 的弱状态概率路由、基于 BF 的索引路由以及数据驱动路由中的噪声干扰抑制问题。这部分内容包括第 7 章~第 10 章。

第7章介绍非结构化对等网络中基于BF的全状态概率路由。传统的BF设计方法会使基于BF的全状态概率路由演变成泛洪广播这种无序路由。为此,本章提出面向接收方的BF优化设计方法,据此能够确保基于BF的全状态概率路由机制的有效性和可行性。

第8章介绍非结构化对等网络中基于BF的弱状态概率路由。本章提出有效实现基于BF的弱状态概率路由机制的充分和必要条件,并设计面向接收方的BF优化机制来满足此充分和必要条件,还解决弱状态概率路由机制产生的冗余消息问题和网络覆盖问题。

第9章介绍非结构化对等网络中基于BF的索引路由。本章发现,为静态集合设计的BF被用以表示动态集合时,会面临假阳性判定概率无法控制的难题。本章首次提出动态BF来处理动态集合并兼容静态集合,通过按需扩展自身容量将其发生假阳性判定的概率控制在较低水平。

第10章介绍数据驱动路由中的噪声干扰抑制问题。本章提出两种设计方法来高效抑制噪声对路由的影响,可使弱状态概率路由算法以很高的概率将查询消息向正确方向转发,并使全状态概率路由算法确保各节点能够沿着最短路径将查询消息路由到目标节点。

本书的研究工作得到了国家自然科学基金优秀青年科学基金项目(No. 61422214)、国家自然科学基金面上项目(No. 61772544)以及湖南省自然科学基金杰出青年基金项目(No. 2016JJ1002)的资助。朱桂明博士参与了第10章的撰写。研究生谢俊杰、胡智尧、陈月月、史良、任棒棒、秦煜东、苑博、程葛瑶等参与了本书的排版、图表绘制、整理等工作,在此一并表示感谢。

限于作者水平,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

郭得科

2018年1月于长沙

目 录

《信息科学技术学术著作丛书》序

前言

第 1 章 对等网络简介	1
1.1 起源与发展	1
1.1.1 P2P 计算模式的概念	1
1.1.2 P2P 网络系统的分类	3
1.1.3 P2P 网络的研究进展	6
1.2 P2P 网络的应用领域	10
1.2.1 传统应用领域	10
1.2.2 移动 P2P 网络	13
1.2.3 NoSQL 存储系统	14
1.2.4 信息中心网络	15
1.3 P2P 网络面临的挑战	16
1.3.1 信任机制	16
1.3.2 数据污染	17
1.3.3 扰动问题	18
1.3.4 搭便车问题	19
1.3.5 流量识别问题	20
1.3.6 负载均衡问题	21
参考文献	22
第 2 章 典型的数据驱动路由模型和机制	25
2.1 结构化 P2P 网络的数据驱动路由机制	25
2.1.1 非常量度结构化 P2P 网络	25
2.1.2 常量度结构化 P2P 网络	29
2.2 非结构化 P2P 网络的盲目路由机制	33
2.3 非结构化 P2P 网络的数据驱动路由机制	37
2.4 混合 P2P 网络的路由机制	39
2.5 本章小结	40
参考文献	40

第3章 基于非正则 Kautz 图的常量度数结构化 P2P 网络	43
3.1 引言	43
3.2 基础知识	45
3.3 非正则 Kautz 有向图	46
3.3.1 非正则 Kautz 有向图及其属性	46
3.3.2 非正则 Kautz 有向图的构建方法	48
3.4 MOORE 方法设计	52
3.4.1 概述	52
3.4.2 资源的命名	53
3.4.3 节点的命名	54
3.4.4 消息路由	55
3.5 拓扑构造和动态维护机制	57
3.5.1 拓扑扩展	57
3.5.2 节点加入	58
3.5.3 节点退出	60
3.5.4 拓扑收缩	61
3.6 性能指标的理论分析和仿真评估	62
3.6.1 节点的出度和入度分布	62
3.6.2 平均路由延迟及路由延迟分布	62
3.7 本章小结	64
参考文献	65
第4章 基于平衡 Kautz 树的常量度数结构化 P2P 网络	67
4.1 引言	67
4.2 Kautz 树结构	69
4.2.1 相关研究工作	69
4.2.2 Kautz 树的基本定义	70
4.2.3 正则 Kautz 树中节点的 Kautz 排序	73
4.2.4 非正则 Kautz 树中节点的 Kautz 顺序	77
4.3 基于平衡 Kautz 树的结构化 P2P 网络 BAKE	78
4.3.1 拓扑构建规则	78
4.3.2 最长后缀匹配的资源放置策略	80
4.3.3 高效且容错的路由策略	81
4.3.4 查询处理	83
4.4 拓扑管理	84
4.4.1 拓扑调整	84

4.4.2	节点加入	85
4.4.3	节点失效	87
4.4.4	节点退出	89
4.4.5	拓扑调整操作的优化	90
4.5	性能指标的理论分析和仿真评估	91
4.5.1	拓扑属性	91
4.5.2	路由模式的鲁棒性	93
4.5.3	基本操作的延迟和消息成本	94
4.6	本章小结	96
	参考文献	97
第 5 章	基于复合图的常量度数结构化 P2P 网络 KCube	99
5.1	引言	99
5.2	KCube 网络	100
5.2.1	符号定义	100
5.2.2	KCube 的构造方法	100
5.2.3	KCube 的新构造方法	104
5.3	KCube 图的拓扑性质	105
5.3.1	基本属性	105
5.3.2	任意节点间的平均距离	106
5.3.3	哈密顿性	107
5.3.4	网络的连通性	109
5.4	KCube 的单播和广播传输机制	111
5.4.1	KCube 的单播传输机制	111
5.4.2	Kautz 和 Hypercube 的广播机制	112
5.4.3	KCube 的广播机制	114
5.5	本章小结	115
	参考文献	116
第 6 章	基于复合图的常量度数结构化 P2P 网络 KMcube	117
6.1	引言	117
6.2	基于复合图的新型 P2P 网络结构 KMcube	118
6.2.1	Möbius 立方体结构	118
6.2.2	KMcube 复合图的构造方法	119
6.2.3	KMcube 的拓扑性质	123
6.2.4	Kautz 图和类 Möbius 立方体的复合图	125
6.3	KMcube 的路由机制和副本策略	125

6.3.1	KMcube 的路由机制	125
6.3.2	KMcube 结构的副本策略	127
6.4	性能评估	128
6.5	本章小结	130
	参考文献	130
第 7 章	非结构化 P2P 网络中基于 BF 的全状态概率路由	131
7.1	引言	131
7.2	背景知识与问题描述	132
7.2.1	BF 数据结构	132
7.2.2	问题描述	134
7.3	解决方案	135
7.3.1	基于 BF 的全状态概率路由机制中路由条目的表示方法	136
7.3.2	面向接收方的 BF 优化设计方法	137
7.4	方案优化	139
7.4.1	ABF 传输大小优化	139
7.4.2	CUBF 的存储优化	140
7.4.3	基于 BF 的全状态概率路由机制面临的实际应用问题	141
7.5	性能评估	141
7.5.1	散列函数的最佳个数	142
7.5.2	假阳性判定概率的理论结果	142
7.5.3	BF 的传输大小	143
7.5.4	假阳性判定概率的实际结果	145
7.6	本章小结	147
	参考文献	148
第 8 章	非结构化 P2P 网络中基于 BF 的弱状态概率路由	150
8.1	引言	150
8.2	基于 BF 的弱状态概率路由机制的理论分析	152
8.2.1	BF 简介	152
8.2.2	BF 的衰落传播模型	153
8.2.3	衰减模型对成员资格信息的影响	155
8.2.4	噪声对路由决策的影响	159
8.3	基于 BF 的高可行性弱状态概率路由机制	161
8.3.1	基于 BF 的高可行性弱状态概率路由机制的充分和必要条件	162
8.3.2	实现高可行性弱状态概率路由机制的 BF 优化方法	163
8.3.3	弱状态概率路由决策产生的冗余查询的处理方法	164

8.3.4	BF 的传输优化方法	167
8.4	基于 BF 的弱状态概率路由的性能评估	167
8.4.1	衰减模型对成员资格信息的影响	168
8.4.2	噪声对路由决策的影响	168
8.4.3	面向接收方的 BF 优化	170
8.4.4	冗余查询消息的处理	171
8.4.5	弱状态概率路由网络覆盖问题的探索	171
8.5	本章小结	172
	参考文献	173
第 9 章	非结构化 P2P 网络中基于 BF 的索引路由	174
9.1	引言	174
9.2	BF 的相关知识	175
9.2.1	BF 概述	175
9.2.2	相关研究工作	176
9.3	动态集合的精确表示和集合成员资格判定	177
9.3.1	DBF 的基本结构	177
9.3.2	DBF 的假阳性判定	180
9.3.3	DBF 的代数运算	182
9.3.4	DBF 的集合成员删除算法的评估	184
9.3.5	DBF 的优化	187
9.4	DBF 性能评估	189
9.4.1	大小和内容固定的静态集合	189
9.4.2	集合大小上界已知的动态集合	191
9.4.3	集合大小上界未知的动态集合	196
9.4.4	分布式应用	197
9.5	本章小结	198
	参考文献	199
第 10 章	数据驱动路由中的噪声干扰抑制问题	201
10.1	引言	201
10.2	OBF 理论	203
10.2.1	OBF 的设计	203
10.2.2	基于 OBF 的衰减传递模型	204
10.2.3	基于 OBF 路由条目设计	204
10.3	理论分析与数据比较	205
10.3.1	理论分析	205

10.3.2 数据比较	209
10.4 基于衰减 BF 的路由方法 DWalker	211
10.4.1 DWalker 的设计方法	211
10.4.2 理论分析	214
10.4.3 模拟实验	214
10.5 本章小结	217
参考文献	217

第 1 章 对等网络简介

对等(peer-to-peer, P2P)网络是近年兴起的一种重要网络技术。P2P 网络由众多地位平等的网络主机自发随机组织或依特定规则组织而成,即使单个网络主机的资源非常有限,其也能提供丰富的资源和强大的服务能力。一些著名的文件共享系统取得巨大成功之后,P2P 网络被广泛运用于很多领域,具有广阔的应用前景。本章分别从起源和发展详述 P2P 计算模式的概念、P2P 网络系统的分类和研究进展;从应用领域的角度阐述 P2P 网络在内容共享等传统应用、移动 P2P 网络、存储系统、信息中心网络等领域的应用现状;从信任机制、数据污染、扰动问题、搭便车问题、流量识别问题、负载均衡问题等方面阐述 P2P 网络面临的重大挑战。

1.1 起源与发展

1.1.1 P2P 计算模式的概念

在传统的客户机/服务器(client/server, C/S)计算模式中,参与计算的主机存在角色上的根本差异。在整个计算过程中,客户端不断地向服务端索取资源而无法向服务端共享资源,长久以来,网络应用完全围绕服务端开展。随着互联网的广泛普及、网络带宽的大幅增加,以及客户端主机性能的大幅提高,学术界和工业界开始研究如何将处于网络边缘的众多客户端主机纳入应用,进而充分利用这些潜在的庞大资源。在这种大背景下,P2P 计算模式应运而生,并自 20 世纪末以来受到工业界和学术界的普遍关注^[1],逐渐成为信息学科研究和应用的热点问题。P2P 计算模式与传统的 C/S 计算模式相比,所有参与计算的网路主机处于完全对等的地位,没有客户机和服务器之分。换句话说,每台网络主机既是客户机,也是服务器;既向他人提供服务,也享受来自他人的服务。

P2P 并不是一种全新的概念,其起源可以追溯到互联网诞生之初的点对点通信模式。互联网的基础架构和协议支持任意两台主机之间的端到端通信,参与通信的双方处于平等地位。在早期的互联网中,P2P 是占主导地位的网络结构和应用模式。新闻讨论组(news network, USENET)是基于 P2P 的早期典型应用,是互联网上信息传播的一个重要组成部分,也是互联网上一种高效的交流方式。后来,个人用户与机构用户在经济能力和对互联网使用意图上的不对等,导致互联

网上的个人计算机和机构主机呈现出处理能力、网络带宽以及提供内容等方面的不对等。各类服务和内容提供商接入互联网的网络主机具有强大的计算能力和很高的网络带宽,而且对外发布个人用户不具备的丰富内容。在这种大背景下,大型主机成为各种互联网应用的中心,而个人计算机只是从互联网获取服务的网络终端,因此 C/S 计算模式广泛流行并取得了巨大成功。万维网是互联网在该阶段的垄断性应用,并推动了互联网的快速普及和发展。

但是,随着互联网和个人计算机的逐渐普及并深入大众的日常生活,人们需要更直接、更广泛的信息交流,可以实现更多的资源和服务共享。普通用户希望能够更全面地参与到互联网的信息交流中,而个人计算机和网络性能的提升也使其具有了实现的可能性。一方面,个人计算机的性能迅速提高而价格不断下降,当前一台普通个人计算机的计算能力和存储能力已经超过了 30 年前的大型机。与此同时,互联网基础设施越来越完备,分配给个人用户的网络带宽不断提高,接入互联网的宽带用户迅速增长。随着计算能力和网络带宽的改善,很多个人计算机也具备了较强的计算和服务能力。另一方面,个人计算机可提供的内容虽然仍然比不上专门的内容提供商,但是已经相当丰富。考虑到接入互联网的个人计算机达到上亿的规模,这些个人计算机可提供的内容总和已经非常庞大。

此外,尽管服务器的部署方式也已从传统的单一服务器发展到集群服务器、并行服务器以及分布式服务器等,但其面临的服务压力日趋增大,在很多领域已经难以满足不断增长的应用需求,如支持大量用户和内容的流媒体直播^[2~5]和流媒体点播^[6]应用。正是在这种背景下,P2P 计算技术引起了人们的广泛关注,并迅速发展成一种重要的网络计算模式。互联网上大量分布、动态和自治的网络个人计算机成为 P2P 计算的基本单元,而且这些基本单元的地位相同,没有客户端和服务端之分。这些地位相等的节点可以互相进行资源调用和数据共享,不需要通过 C/S 计算模式的中心服务器来转接和通信,这样可以极大地降低对中心服务器的依赖,也就降低了对服务器的性能要求。

1999 年,一款 P2P 文件共享系统 Napster 将 P2P 重新带回网络世界,P2P 应用才真正迅速流行起来。Napster 为互联网用户提供音乐文件的共享和交换服务,其允许大量对等的用户不受任何干涉地进行音乐文件的上传和下载。Napster 本身并不提供音乐资源,只提供动态刷新的网内音乐文件的目录服务。Napster 在短时间内迅速在众多音乐爱好者中传播开来,并吸引了千万量级的用户。它的成功使人们意识到 P2P 拓展到互联网其他应用领域的可能性。随后出现了更多的 P2P 应用和系统,而且 P2P 用户数量持续快速增长,如 KaZaA^[7]、LimeWire、Morpheus 和 BitTorrent^[8]等。目前,互联网上各类 P2P 应用造成的流量已占骨干网流量的很大比例。

P2P 这种网络计算模式兴起的最初目标是基于互联网边缘的大量个人计算

机形成一个 P2P 网络系统,从而充分发掘和利用这些网络节点的资源,包括提供带宽、存储空间、计算能力、内容等资源。因此,当加入 P2P 网络系统的节点数量日益增多时,整个系统的资源总量和服务能力也随之增长。这种能力是通过固定规模服务器提供服务的 C/S 计算模式所不具备的,此时大量客户端只会给服务端带来更大的压力,导致所有客户端获得更慢的服务体验。一些非常著名的文件共享系统取得巨大成功之后,P2P 网络逐渐成为一种通用网络计算技术被广泛应用于各种领域,包括分布式存储^[9,10]、广域分布计算^[11]、协同工作以及流媒体分发等。

与传统的 C/S 计算模式相比,P2P 计算模式具有如下重要优势。

(1) 非中心化。网络中的资源和服务分散在所有节点上,信息的传输和服务的实现都直接在节点之间进行,可以不需要中间环节和服务器的介入,避免了可能的瓶颈。P2P 计算模式的非中心化基本特点使其在可扩展性、健壮性等方面具有优势。

(2) 可扩展性。在 P2P 网络中,随着更多用户节点的加入,不仅服务的需求增加了,系统整体的资源和服务能力也在同步地扩充,始终能比较容易地满足用户的需要。理论上,P2P 网络的可扩展性几乎可以认为是无限的。例如,对于传统的文件传输协议(file transfer protocol,FTP),当下载用户增加后,下载速度会变得越来越慢,然而,P2P 网络正好相反,加入的用户越多,P2P 网络中提供的资源就越多,下载的速度反而越快。

(3) 健壮性。P2P 架构天生具有耐攻击、高容错的优点。由于服务是分散在各个节点之间进行的,因此部分节点或网络遭到破坏对其他部分的影响很小。P2P 网络一般在部分节点失效时能够自动调整整体拓扑,保持其他节点的连通性。P2P 网络通常都是以自组织的方式建立起来的,并允许节点自由地加入和离开。

(4) 高性价比。性能优势是 P2P 架构被广泛关注的一个重要因素。随着硬件技术的发展,个人计算机的计算和存储能力以及网络带宽等性能依照摩尔定律高速增长。采用 P2P 架构可以有效地利用互联网中散布的大量普通节点,将计算任务或存储资料分布到所有节点上。利用其中闲置的计算能力或存储空间,达到高性能计算和海量存储的目的。

(5) 负载均衡。P2P 网络环境下,每个节点既是服务器又是客户机,这减少了对传统 C/S 构架服务器计算能力、存储能力的要求,同时资源分布在多个节点上,更好地实现了整个网络的负载均衡。

1.1.2 P2P 网络系统的分类

P2P 网络系统有很多种分类方法,根据系统对中央服务器的依赖程度可以将各种 P2P 网络系统分为三种类型,分别是集中式 P2P 网络系统、部分分布式 P2P 网络系统,以及纯分布式 P2P 网络系统^[12]。

1. 集中式 P2P 网络系统

集中式 P2P 网络系统中存在一个或多个目录服务器。每个加入系统的节点需要主动将本地资源的索引发布到目录服务器上。每个节点以 C/S 计算模式从目录服务器获取所需资源的地址,然后节点之间以 P2P 模式建立连接并直接进行交互。该类系统包括典型的文件共享系统 Napster、BitTorrent 等,以及实时通信系统 MSN、QQ 等。这类系统具有易于部署和维护等优点,但是文件共享系统中的这些目录服务器往往面临版权纠纷和性能瓶颈两大问题。事实上,正是版权问题使得 Napster 系统在运行不久之后就被迫关闭。

2. 部分分布式 P2P 网络系统

部分分布式 P2P 网络系统的基本思想是充分发掘并利用 P2P 网络节点间的能力差异,包括计算能力、内存大小、网络带宽、在系统中滞留的时间等。根据这些能力指标构造某种规则,进而从系统中选择一些超级节点来充当目录服务器的角色。每个超级节点与若干普通节点构成一个簇(cluster),超级节点作为簇内的目录服务器,管理簇内所有节点的资源信息。不同簇之间通过对应的超级节点按照 P2P 模式相连,组织成一个纯分布式的 P2P 网络,并令超级节点之间交换索引内容和服务器列表信息。

每个节点发起的资源查询请求会先由所在簇的目录服务器处理,如果所在簇内没有满足要求的资源,那么查询消息会被转发给其他簇内的目录服务器处理,直至找到满足需求的资源或查询消息依据协议规则被终止。这些超级节点往往拥有较强的处理能力、高带宽和较长的在线时间,使系统在查询性能、容错性、伸缩性等方面表现出较好的能力。这类系统的典型代表是基于 FastTrack 协议的 KaZaA 系统。总体来说,基于超级节点的部分分布式 P2P 网络比以前的 P2P 网络有很大程度的改进,但超级节点本身的脆弱性也可能致使所在簇内的其他节点处于孤立状态。

3. 纯分布式 P2P 网络系统

纯分布式 P2P 网络系统的出现可以从根本上改进集中式 P2P 网络系统的缺陷和不足。纯分布式 P2P 网络中不存在任何目录服务器,每个节点既是服务器也是客户端,且具有相同的权利和义务,所有的服务及其相关信息完全散布于各个 P2P 网络节点中,因此它最显著的特点就是“完全地去中心化”。这种系统采用随机图或其他特定的互联结构将全体节点组织成为一个纯分布式的网络系统。这类系统的优点是系统没有性能瓶颈,具有较强的伸缩性和扩展性,而缺点是需要辅以特定的内容查询机制才使得任意节点能从网络中找到潜在的目标资源。也