

# 一种基于 P2P 网络的分布式文献库共享模型

徐小龙, 柴倩, 程春玲

(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

**摘要:** 目前网络文献共享系统已经汇聚了海量的文献资源, 而且具有巨大的访问量。随着数据量和访问量的攀升, 网络文献共享系统的负荷日益沉重。用户常常需要等待较长的时间才能登录、查询、下载到自己所需参考的文献资料, 而且下载到本地的文献常常混乱存储在本地, 难以后续利用。为了解决上述问题, 文中提出一种基于混合 P2P 网络的分布式文献库共享模型。该模型有效的利用 P2P 网络技术将网络文献共享平台服务器的巨大负载分担到常常处于资源闲置状态的网络边缘节点上, 同时将用户终端节点上文献进行有机的组织, 构成易于本地和异地检索的局部文献库, 从而有效提升网络文献共享系统的性能, 降低网络文献共享系统的维护成本。描述了基于混合 P2P 网络的分布式文献库共享模型体系架构、模块组成和 workflows, 并重点阐述了一种新的基于 chord 的分领域多环机制。经实验验证, 该机制有效的实现了组内和组间的节点间的文献资源定位和共享。

**关键词:** 对等网络; 文献; 信息共享; 分布式散列表

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2011)01-0104-04

## P2P Networks-Based Sharing Model of Distributed Literature Library

XU Xiao-long, CHAI Qian, CHENG Chun-ling

(College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** The current network document sharing systems have brought vast amounts of literature together and bear huge traffic every day. With the amount of data and traffic increasing, the load of network document sharing system grows heavier. Users often need to wait a long time to login, query, download reference documents they need, which are usually stored disorderly in users' local storage devices and difficult for follow-up utilization. In order to solve these problems, presents a hybrid Peer-to-Peer (P2P) networks-based sharing model of distributed literature library. The model is able to efficiently use of P2P network technology to allocate the enormous load of servers of network document sharing platform to the idle network edge nodes, and organize documents on user terminal nodes in order to provide the local literature database which is easy to access locally and remotely, so as to effectively enhance the network document sharing system performance and reduce network document sharing system maintenance costs. Describes the architecture, modules and processes of the hybrid Peer-to-Peer (P2P) networks-based sharing model of distributed literature library, and proposes a new chord-based multi-ring mechanisms, which is appropriate for effective the resources positioning and sharing in or among peer groups tested by experiments in our lab.

**Key words:** peer-to-peer networks; literature; information sharing; distributed hash table

## 0 引言

目前网络文献共享系统已经汇聚了海量的文献, 一般是基于由某一机构或单位来构建的数据中心平台, 而且具有巨大的访问量<sup>[1,2]</sup>。随着数据量和访问量的攀升, 网络文献共享系统的负荷日益沉重。在访问

的高峰期, 用户常常需要等待较长的时间才能登录、查询、下载到自己所需参考的文献资料, 甚至无法与之进行连接, 需要等到访问量平淡的时候重新检索和下载资源, 从而浪费大量的时间<sup>[3]</sup>。对于网络文献共享系统的维护单位来说, 通常的做法是不断升级、扩充计算和网络硬件设备来应付这种情况。

与此同时, 用户从网络文献共享平台检索下载了大量的文献后, 这些文献常常是杂乱无章的存储于本地辅助存储介质上, 为用户在后续阶段有效的再次阅读和利用这些文献带来了很大的麻烦。目前很多用户采取的手段是人工手动分目录存储这些文献。

针对上述问题, 本文的贡献在于: 创新性的提出一种基于混合 P2P 网络的分布式文献库共享模型。该

收稿日期: 2010-05-22; 修回日期: 2010-08-04

**基金项目:** 教育部科技发展中心网络时代的科技论文快速共享专项研究资助课题(2009117); 教育部博士点基金(20093223120001); 江苏省科技支撑计划(BE2009158); 江苏省高校自然科学基金项目(09KJB520010)

**作者简介:** 徐小龙(1977-), 男, 江苏盐城人, 博士, 副教授, 研究方向为计算机软件、分布式计算、信息安全、Agent 技术等。

模型有效的利用 P2P 网络技术将网络文献共享平台服务器的巨大负载分担到常常处于资源闲置状态的用户终端节点上,同时将用户终端节点上文献进行有机的组织,构成易于本地和异地检索的局部文献库,从而有效提升网络文献共享系统的性能,降低网络文献共享系统的维护成本。

## 1 基于混合 P2P 网络的分布式文献库共享模型

### 1.1 体系结构

基于混合 P2P 网络<sup>[4,5]</sup>的分布式文献库共享模型主要包含了两个域:服务器域(由集群服务器构成)、边缘节点域(由各用户所有的 Peer 节点构成)。在该模型中,服务器包含了全局节点信息管理、全局资源信息、检索模块、集中管理的文献数据库等模块。

文献按领域可分为理工、农业、医药卫生、文史哲、政治军事与法律、教育与社会科学综合、电子技术与信息科学、经济与管理。每个领域可进一步细分,如理工可分为数学、物理、天文、地理、生物、化学、化工、冶金、环境、矿业、机电、航空、交通、水利、建筑、能源等子领域<sup>[6]</sup>。而通常的科技工作者(即相关文献读者)会重点关注于其中某一、二个领域的科技文献,因此可按文献读者关注领域,将其所有的 Peer 节点划分为若干个对等组,

文中将每个 Peer 节点上的局部文献共享系统层次架构设计为如图 1 所示,共分为 5 层:

应用层	文献检索	文献切片	文献更新	文献传输	文献压缩	文献评价
资源层	文献库		文献缓存		文献关联	
安全层	身份认证	访问控制	数据加密	性能监控	信任机制	
覆盖网络层	节点管理		对等组机制		资源定位	路由机制
网络层	网络协议		通信机制		接入网络	

图 1 P2P 节点局部文献共享系统层次架构

1) 网络层——每个 Peer 节点的网络协议、通信机制、接入网络方式可能存在差异,有些 Peer 节点存在于局域网中,有些直接接入 Internet,有些甚至利用移动设备无线接入网络。网络拓扑结构随着节点的动态接入和退出而不断变化,这为节点和文献资源的管理、定位和稳定共享带来了一定的困难。系统网络层则需要屏蔽各 Peer 节点的网络差异性并为上层提供稳定的网络服务。

2) 覆盖网络层——由于 P2P 网络是在现有网络基础设施之上构建的覆盖网络(Overlay network)<sup>[7,8]</sup>,

因此在该层应包括节点管理、对等组机制、资源定位、路由机制等模块。以路由和资源定位机制为例,Peer 节点之间直接的基于 DHT 的路由转发和资源定位即在本层来实现。

3) 安全层——由于系统应用于开放的 Internet 环境,安全可靠性是系统正常、稳定运行的前提。在系统安全层至少需要提供身份认证、访问控制、数据加密和性能监控等安全服务;而系统的良性发展则需依赖有效的信任机制,通过信任机制来遏制恶意节点的数量以降低其对系统的危害,如虚假路由(fake routing)、搭便车(free riding)或公共悲剧(tragedy of common)等。

4) 资源层——局部文献共享系统的核心层是资源层,包含文献库、文献缓存、文献关联。文献库里包含了本地存储器上存储的科技文献的属性信息,如标题、来源、作者、存储路径等;文献缓存是指当前因正在下载、上传和阅读而临时保留于内存中的文献信息,可加快文献的共享效率;科技文献常常彼此引用,在参考文献中尤其可以体现,这就将文献资源构成了一个关联性网络,这种特性可有效协助读者更全面了解相关知识。

5) 应用层——该层提供了用户界面,是用户和系统的接口,提供的功能包括本地和异地文献检索、文献切片和合成、文献更新、文献传输、文献压缩、文献评价机制等。

### 1.2 工作机制

系统初始化时,首先要在集群服务器端部署网络

文献共享系统,可采用服务器集群分领域承载文献库。各服务器之间可灵活采用 DHT 机制来实现节点之间的互联,或是直接采用网状拓扑。

同时进行对等组的初始化。文献按领域可分为理工、农业、医药卫生、文史哲、政治军事与法律、教育与社会科学综合、电子技术与信息科学、经济与管理。文中将文献按种类分布存储在不同的集群服务器上,并首先对服务器按领域进行分组,形成了初始的对等组形态,并确定服务器所属对等组标识(Peer Group ID, PGID)。

Peer 进入系统后,并不属于任何一个对等组,进入系统后,用户在检索文献若干次后,按照检索文献的所属的最多领域,将该节点加入到对应的服务器所领导的对等组中,即为该节点分配一个的组内唯一的标识:PeerID。因此每个节点的基本标识为 PeerID|PGID,即由组内标识与组标识联合构成,以此作为节点在整个 P2P 网络中的唯一标识。

在后续用户检索文献时,如果该用户继续检索该

领域的文献,则该节点可继续使用标识;如果用户转而检索其它领域的文献多次,系统将为该节点再分配另外一个由组内标识与组标识联合构成唯一的标识,即在本系统中,一个节点可以拥有多个标识,可以同时属于多个对等组,以真实反应用户的多种关注兴趣。

开始时,用户本地的局部文献库中并没有文献;当各个 Peer 到服务器上检索并下载自己所需的文献到本地时,用户本地的文献库中即开始添加当前下载的文献信息,并在本地指定的目录下规范管理。基于 P2P 计算充分利用网络边缘节点资源的思想,当用户节点  $Peer_A$  检索和下载了文献  $i$ ,另一个用户节点  $Peer_B$  也需要检索和下载文献  $i$  时, $Peer_B$  可以不通过服务器,而直接从  $Peer_A$  进行连接、检索和下载文献  $i$ 。这种方式实现了本文的主要目标,即实现资源的最优利用和负载的均衡分担。

设定了以下的策略:

(1)以代表领域的对等组作为单位来进行负载平衡,即在服务器端设定性能阈值  $\lambda$ ,当服务器的当前负载小于  $\lambda$  值时,将当前用户的检索请求调度到集群服务器端来执行;

(2)当服务器的当前负载大于阈值  $\lambda$  时,指示用户采用 P2P 方式来将检索请求调度到 Peer 端来执行。

## 2 基于 Chord 的分领域多环机制

文中对 Chord 算法<sup>[9-12]</sup>进行了改进,提出一种适合于基于混合 P2P 网络的分布式文献库共享系统的分领域多环模型;主要分为两层,如图 2 所示:由集群服务器构成的主干网层和普通 Peer 节点构成的子网层。每一层都使用基于 DHT 的结构化 Chord 进行节点和文献的管理和定位。集群服务器与在其上面注册的普通节点之间则采用全连接方式,每个服务器均保存了所领导的对等组中所有 Peer 的注册信息。

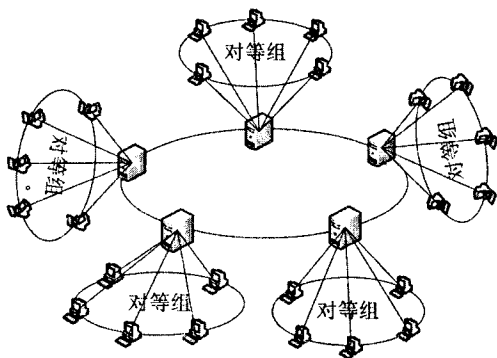


图 2 基于多环的 P2P 网络拓扑结构

子网层的活动包括 Peer 节点请求加入网络、Peer 节点退出网络、已下载文献发布、文献资源查询等。用户在检索文献若干次后,按照检索文献的所属的最多领域,将该节点加入到对应的服务器所领导的对等组

中。

当一个 Peer 节点加入到 Chord 环时,必须用一个已知的 Peer 进行引导,并对其他 Peer 进行更新。Peer 加入需经过三个过程:节点加入许可过程、路由表初始化过程、更新其它节点 finger 表过程。

如果节点  $Peer_A$  主动退出所在对等组时,首先向所在对等组服务器发送信息,要求注销其注册信息,然后  $Peer_A$  通知它的前驱节点和后继节点,要退出这个网络。当前驱节点和后继节点知道收到通知后,会更新它们的数据,以维持 Chord 环的稳定。

普通节点在其所在子网内发布已下载资源的步骤如下:

(1)节点将已下载资源的关键值与资源在节点上的地址(节点的 IP 地址+端口号+路径)生成发布文献资源的请求消息;

(2)利用 Chord 的路由算法,把发布资源的请求消息路由到负责管理该资源索引的子网内的某个节点;

(3)管理该资源索引的节点收到请求后,根据资源的关键值与资源在节点上的地址生成索引记录,加入到它的索引记录列表中,并发送表示资源发布成功的应答消息。

(4)发布节点等待应答消息,如果等待超时,返回步骤(3),重新发送发布资源请求。

(5)发布节点收到发布资源成功的应答消息后,结束发布资源操作。

某一对等组中的 Peer 首先向服务器发送某文献的查询请求,若查询的资源类型恰好属于该服务器所管辖,且此时服务器的负载小于  $\lambda$  值,服务器直接提供资源下载服务;若此时服务器负载大于  $\lambda$  值,则服务器查看其查询缓冲,若查找到与查询资源关键值匹配的索引,服务器将缓冲区内查找到的最近下载查询资源的 Peer 的节点地址发送给查询节点,使其直接与拥有资源的 Peer 节点建立通信,获取资源。若服务器查找其查询缓冲失败,则 Peer 节点在其所在对等组内查询所需文献,当 Peer 通过 Chord 查询算法查找成功后,直接与拥有资源的 Peer 节点建立通信,获取资源。若查找失败,则 Peer 节点在等待一段时间后从服务器下载所需资源。

若 Peer 节点查询资源的类型不属于其所属服务器,则服务器在上层网络中按 Chord 路由算法进行资源定位,查找到节点请求资源所在服务器后,首先判断该服务器当前负载,小于  $\lambda$  值服务器直接提供资源下载服务;否则服务器查看其查询缓冲,若查找成功,服务器将最近下载查询资源的 Peer 的节点地址发送给查询节点;若服务器查看其查询缓冲失败,则查询节点等待一段时间后从服务器直接下载资源。

### 3 仿真实验

下面对文中阐述的相关研究成果的性能进行分析,重点分析文中提出的基于 Chord 的分领域多环机制。传统的单层 Chord 系统虽然可扩展性方面比较好,但由于其查询效率偏低。对于  $2^N$  个节点的系统平均须经过  $N$  个查询节点,因此每个查询节点间的总体查询速度较慢。对大规模的 P2P 网络不是很适用。而基于 Chord 的分领域多环机制则将节点按经常查询文献资源类型有序划分为若干个子网 Chord 环,可减少查询跳数,提高资源查询的速度。

在单层 Chord 环中,假设网络中有  $2^N$  个 Peer 节点,则环内平均查询跳数为  $N$ 。基于 Chord 的分领域多环机制中,假设网络中同样包含  $2^N$  个节点,若按文献种类分为  $2^n$  个领域,则每个子网内的平均节点数为  $2^{N-n}$ ,节点在每个子网内的平均查询跳数为  $N-n$ 。取  $n=3$ ,即按文献种类分为 8 个领域,网络中共有  $2^N$  个 Peer,则每个子网内的平均节点数为  $2^{N-3}$ ,节点在每个子网内的平均查询跳数为  $N-3$ ,从图 3 中可以看出,随着总结点  $N$  的增加,采用基于 Chord 的分领域多环机制的分布式文献共享模型与原 Chord 系统相比,可减少平均查询跳数。

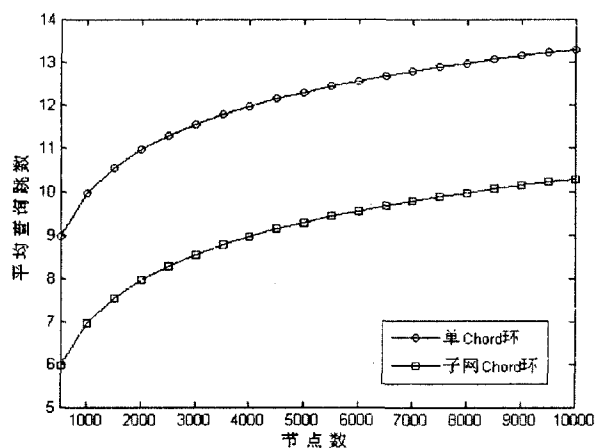


图3 单层 Chord 环与多环模型平均查询跳数比较

假设子网的查询命中率为  $p$ , 服务器查询缓冲的命中率为  $q$ , 则基于 Chord 的分领域多环机制中平均查询跳数为:

$$H = (N-n)p + (N-n)(1-p) + 1 + n(1-p)(1-q) \quad (1)$$

式(1)化简为:

$$H = N - n + 1 + n(1-p)(1-q) \quad (2)$$

由式(2)可看出当  $N, n$  一定时, 子网的查询命中率为  $p$ , 服务器查询缓冲的命中率为  $q$  增大时, 平均查询跳数减小。取  $n=3$ , 即按资源类型不同分为 8 个子网。仿真结果如图 4、5 所示。

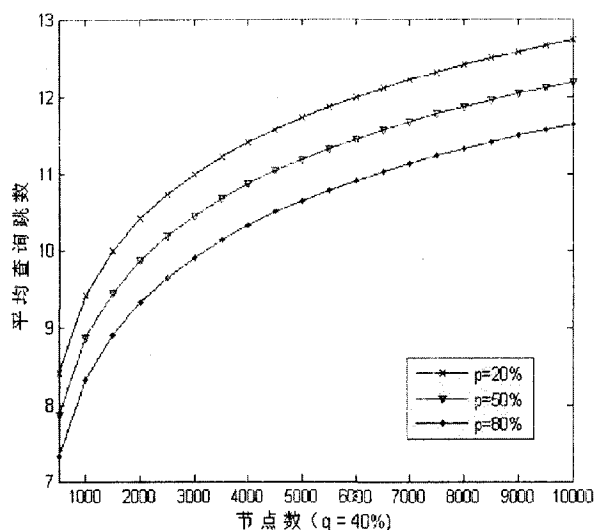


图4  $q=40\%$  时不同的  $p$  对应的平均查询跳数

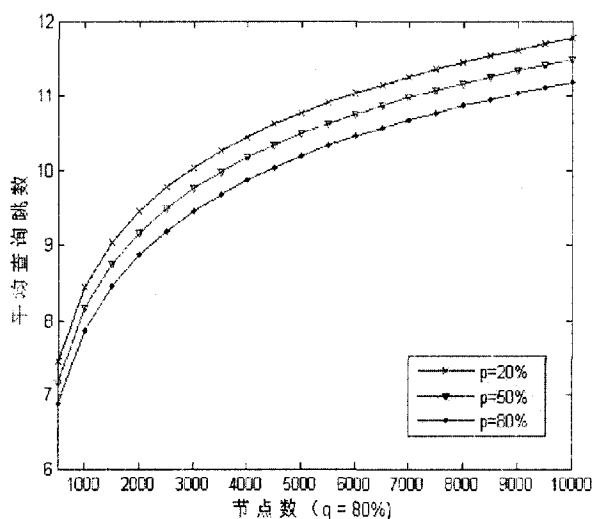


图5  $q=80\%$  时不同的  $p$  对应的平均查询跳数

由图 4 和图 5 可看出, 服务器查询缓冲的命中率为  $q$  不变时, 随着子网的查询命中率为  $p$  的增加, 系统的平均查询跳数减少。可见基于 Chord 的分领域多环机制的分布式文献共享模型具有较好的可扩展性; 同时, 随着网络总节点数的增加, 在进行文献资源定位和共享时可有效的减少平均查询跳数, 提高查询效率。

### 4 结束语

汇聚了海量的文献资源的网络文献共享系统已经难以承担日益沉重的用户查询与下载服务请求, 系统的 QoS (Quality of service, 服务质量) 已经难以保障。文中提出的基于混合 P2P 网络的分布式文献库共享模型的核心思路是将服务器端的负载分担到客户端, 最大化的利用网络中的所有资源, 即利用 P2P 网络技术将网络文献共享平台服务器的庞大负载分担到网络边缘节点上, 有效利用节点上的计算、存储和信息资源。

(下转第 111 页)

## 4 结束语

由于分数阶微分系统具有记忆功能,求解过程计算量较大。文中对原有的求解非线性分数阶微分方程的算法进行研究,对算法系数的特性进行了分析,指出了虽然远离当前的项的系数极小,但其积累的影响却不可忽视,为此设计了一种合理有效求解非线性分数阶微分方程的算法,通用性好,易于编程实现。

### 参考文献:

- [1] Podlubny I. Fractional Differential Equations[M]. New York: Academic Press, 1999.
- [2] Fetecau C, Athar M, Fetecau C. Unsteady flow of a generalized Maxwell fluid with fractional derivative due to a constantly accelerating plate[J]. Computers and Mathematics with Applications, 2009, 57: 596 - 603.
- [3] Xu Hang, Liao Shi-Jun, You Xiang-Cheng. Analysis of nonlinear fractional partial differential equations with the homotopy analysis method[J]. Commun Nonlinear Sci Numer Simulat, 2009, 14: 1152 - 1156.
- [4] Bouafoura M K, Braiek N B.  $PI^{\alpha}D^{\alpha}$  controller design for integer and fractional plants using piecewise orthogonal functions[J]. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 2010, 15(5): 1267-1278.
- [5] 李 卓. 粘弹性分数阶导数模型及其在固体发动机上的应用[D]. 北京: 清华大学, 2000.
- [6] 蒲亦非, 王卫星. 数字图像的分数阶微分掩模及其数值运算规则[J]. 自动化学报, 2007, 33(11): 1128-1135.
- [7] 王海燕. 求解分数阶微分方程的 Runge\_Kutta 方法[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2008.
- [8] 邓伟华. 分数阶微分方程的理论分析与数值计算[D]. 上海: 上海大学, 2007.
- [9] Marom O, Momoniat E. A comparison of numerical solutions of fractional diffusion models in finance[J]. Nonlinear Analysis: Real World Applications, 2009, 10(6): 3435 - 3442.
- [10] 王振滨, 曹广益. 分数阶动态系统的数值算法[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(3): 477-484.
- [11] Wu J L. A wavelet operational method for solving fractional partial differential equations numerically[J]. Applied Mathematics and Computation, 2009, 214: 31-40.
- [12] Yang Q, Liu F, Turner I. Numerical methods for fractional partial differential equations with Riesz space fractional derivatives[J]. Appl. Math. Modell, 2010, 34(1): 200-218.
- [13] 蔡 新. 解空间 Riesz 分数阶扩散方程的一种数值方法[J]. 高等学校计算数学学报, 2005, 27(专刊): 242-246.
- [14] Zhou Shangbo, Li Hua, Zhu Zhengzhou. Chaos control and synchronization in a fractional neural network system[J]. Chaos, Solitons and Fractals, 2008, 36(4): 973-984.
- [15] Xiao Ke, Zhou Shang-Bo, Zhang Wei-Wei. Numerical Solution for Fractional-order Differential System with Time-Domain and Frequency-Domain Methods[J]. Journal of Electronic Science and Technology of China, 2008, 6(3): 294-298.

(上接第 107 页)

源,同时将用户终端节点上文献进行有机的组织,构成易于本地和异地检索的局部文献库,从而有效提升网络文献共享系统的性能,降低网络文献共享系统的维护成本。

### 参考文献:

- [1] 吴贤奇. 现代文献信息检索[M]. 南京: 东南大学出版社, 2007.
- [2] 程维红, 任胜利, 王应宽, 等. 国外科技期刊开放存取网络平台[J]. 中国科技期刊研究, 2009, 20(1): 36 - 44.
- [3] 李志民, 万 猛. 网络时代的科技论文快速共享与多维表达研究[EB/OL]. 2010-04-29. [http://www.paper.edu.cn/lizhimin\\_jiaoyu\\_wangluo.php](http://www.paper.edu.cn/lizhimin_jiaoyu_wangluo.php).
- [4] 陈贵海, 李振华. 对等网络: 结构、应用与设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [5] 乐光学, 李仁发, 周祖德. 基于 Region 多层结构 P2P 计算网络模型[J]. 软件学报, 2005, 16(6): 1140-1150.
- [6] 中国期刊全文数据库介绍信息. 中国期刊网[EB/OL]. 2010-03-29. <http://dlib.cnki.net/kns50/Navigator.aspx>.
- [7] Lua E K, Crowcroft J, Pias M, et al. A survey and comparison of peer-to-peer overlay network schemes[J]. Communications Surveys & Tutorials, 2005, 7(2): 72-93.
- [8] 吴国庆. 对等网络技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(7): 100-103.
- [9] Cordasco G, Gargano L, Hammar M, et al. F-Chord: Improved uniform routing on Chord[C]// In: Proc. of the 11th Colloquium on Structural Information and Communication Complexity (SIROCCO 2004), Smolenice Castle, 2004. Berkeley: Springer-Verlag, Lecture Notes in Computer Science, 2004.
- [10] Ganesan P, Manku G S. Optimal Routing in Chord[C]// In: Proc. of the 15th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA). New Orleans: [s. n.], 2004: 176-185.
- [11] Joung Y J, Wang J C. Reducing maintenance overhead in Chord via heterogeneity[C]// In: Proc. of the 5th IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGrid'05). Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 221-224.
- [12] 宁多彪, 陶中平, 吕光宏. 基于 PNS-PGrid 的 P2P 路由算法的设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(12): 47-50.