

P2P 空间矢量数据索引网络路由机制的研究与实现

吴家皋¹, 华正¹, 卞超杰¹, 邹志强¹, 胡斌²

(1. 南京邮电大学 计算机学院 计算机技术研究所, 江苏 南京 210003;

2. 南京师范大学 虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210046)

摘要:随着地理信息系统的普及,越来越多的用户希望在线获取空间服务和空间数据。P2P 技术为矢量地理数据的处理提供了充分的计算能力和服务能力,在 P2PGIS 系统中,索引网络的路由效率是主要问题之一。文中在已有的理论模型基础之上,采用结构化 P2P 网络协议 Chord,扩展和修改 JXTA 路由协议规范,整合分布式哈希表(DHT)技术,实现了一个高效的、负载均衡的 P2P 空间矢量数据索引网络。实验结果表明,该索引网络比集中式索引网络具有更高的矢量数据传输效率。

关键词:P2P;空间索引;Chord;JXTA;路由机制

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)10-0001-04

Study and Implementation of Routing Scheme of P2P Spatial Vector Data Indexing Networks

WU Jia-gao¹, HUA Zheng¹, BIAN Chao-jie¹, ZOU Zhi-qiang¹, HU Bin²

(1. Institute of Computer Technology, College of Computer, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2. Ministry of Education Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

Abstract: With the popularity of geographical information systems, more and more users want to access to spatial on-line services and data. P2P technology has provided sufficient computing and service capability for vector geographic data processing, the routing efficiency of indexing networks is one of the principle problems in P2PGIS system. In this paper, based on the existing theoretical model, the effective and load balancing P2P spatial vector geography data indexing network is studied and implemented, which expanded and modified JXTA routing protocol scheme by adopting the structured P2P network protocol—Chord and integrating distributed hash table (DHT) technology. The experiment results show that the vector geography data transmission efficiency in the P2P indexing network is higher than that in the centralized scenario.

Key words: P2P; spatial indexing; Chord; JXTA; routing scheme

0 引言

P2PGIS 是对等网络^[1,2](P2P)技术应用于地理信息系统(GIS)的产物,利用 P2P 技术在 Web 上发布地理信息,用户能从网络上下载地图,并进行各种信息检

索和处理,它的开放性和共享性大大方便了人们的使用。P2PGIS 的出现主要是让地理空间数据真正服务于公众。它应该尽量达到以下两个目标:一是提供更人性化的功能强大的空间查询;二是提高服务质量(QoS),快速地响应用户查询。但是,P2PGIS 的一个主要特点是数据传输量大,而使用浏览器获取地理服务的用户又希望在使用系统的过程中有较高的响应率。因此,如何充分利用网络带宽,快速地发布和获取用户所需要的数据已经成为众多学者研究的主要课题之一。

随着地理信息服务方面的应用越来越多,人们对 P2PGIS 进行了多角度、多层次的研究。矢量地理

收稿日期:2011-03-28;修回日期:2011-06-29

基金项目:国家“863”计划项目(2009AA12Z219);国家自然科学基金资助项目(40801149);东南大学计算机网络和信息集成教育部重点实验室开放研究基金项目(K93-9-2010-06)

作者简介:吴家皋(1969-),男,江苏苏州人,副教授,博士,CCF 会所,研究方向为计算机网络协议及算法、P2P 网络、GIS;邹志强,男,副教授,博士,研究方向为分布式空间信息处理;胡斌,男,讲师,博士,研究方向为 P2PGIS、3D 建模。

数据索引大部分都基于两种数据结构: Quad-Tree^[3]和 R-Tree^[4]。文献[5]提出了一种基于 R-Tree 的更适用于 P2P 环境的新型多维空间索引结构——PR-Tree, 并且在这种新型的索引结构下进行了高维数据的查询操作。文献[6]提出了 P2PR-Tree 索引方法, 该方法不需要中心服务器, 采用分层索引结构, 在网络中组成了多棵 R-Tree, 每个 Peer 只需保存少量的状态信息。这两种方法虽然能达到较高的查询效率, 但同时会造成四叉树的根节点负载过重。文献[7]提出了一种分布式 MX-CIF Quad-Tree, 将上层的四叉树映射到底层的 Chord^[8]网络中, 该方法虽然能使根节点的负载减轻, 但同时它也增加了额外的开销, 在查询速度上有所不足。文献[9]在理论上提出了一种混合式网络结构模型, 该模型将索引网络分为上下两层, 上层采用结构化 P2P 网络 Chord 路由协议, 下层采用层次聚类的 P2P 分布式四叉树结构。该网络能在负载均衡和查询速度之间找到折衷点, 提高系统的查询效率, 从而适应不同的 P2P 地理服务应用环境。但是, 它只是在理论上提出了该网络模型的可行性, 没有考虑该模型的实现问题。

JXTA^[10-13]是 SUN 于 2001 年提出的开源对等网络通信平台规范, 提供 P2P 网络最基础的关键技术, 具有互操作性和平台独立性等特点。但它是一种基于松散一致的分布式哈希表的非结构化网络, 采用泛洪法进行路由。与此不同, 文中将在 JXTA 框架中, 通过扩展修改汇聚层的发现协议、汇聚节点视图、有限范围遍历以及分布式索引分发等机制, 引入 Chord 路由机制来替换原来的泛洪路由算法, 实现采用 Chord 路由定位机制的 P2P 索引网络。实验结果表明, 该 P2P 索引网络比集中式索引网络具有更高的矢量数据查询效率。

1 混合结构 P2P 空间索引网络体系结构

该混合结构索引网络由两部分组成, 其体系结构如图 1 所示, 上层采用基于 Chord 路由协议的结构化 P2P 网络, 下层采用层次聚类的 P2P 分布式四叉树结构。Chord 环上的节点均为汇聚节点, 客户节点又称为边缘节点, 边缘节点通过连接指定的汇聚节点加入 Chord 网络中, Chord 采用带弦环拓扑结构, 通过一致性散列函数将节点和数据对象分配到 P2P 网络中, 每个数据对象由其后继节点负责, 形成负载均衡、可扩展、简单、高效的路由定位机制。在下层的 P2P 分布式四叉树结构中, 二维空间根结点区域被递归地划分

为四个等尺寸的子空间区域, 直到某个子空间完全包含或不包含任何数据对象为止。每块空间区域对应一个 Tile 分片表示, 我们用每块空间区域的中心点坐标作为该 Tile 的关键字, 由于四叉树中每个结点的地理区域范围都是不同的, 所以四叉树上的每个结点对应的关键字都不会重复使用, 保证了唯一性。发布矢量数据时, 通过安全散列函数将每颗四叉树根结点的关键字哈希成不同的散列值, 再通过 Chord 算法将四叉树发布到汇聚节点上。

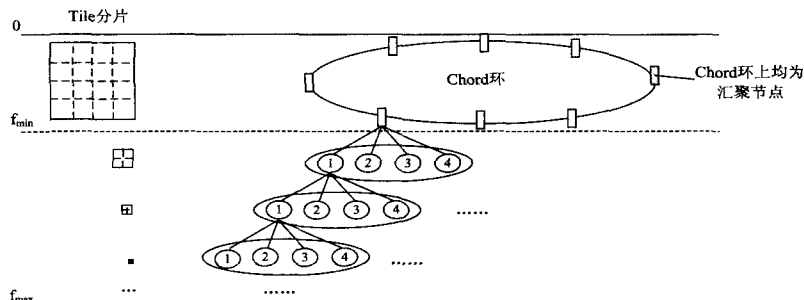


图 1 混合式空间矢量数据索引网络体系结构

2 路由方案的设计与实现

在上述空间矢量数据索引网络的构建中, 位于下层的分布式四叉树的实现相对容易, 因此, 我们主要考虑上层的基于 Chord 路由协议的 P2P 网络的实现。JXTA 是 SUN 提出的开源 P2P 通信网络规范, 实现了一种可相互通信的对等网络平台, 但它采用泛洪式路由机制。与此不同, 我们在 JXTA 框架中引入 Chord 路由机制, 实现采用 Chord 路由定位机制的 P2P 索引网络。基于 JXTA 的 Chord 索引网络设计实现的总体框架如图 2 所示。其中汇聚服务 (RendezVous Service)、共享资源分布式索引服务 (Shared Resource Distributed Index (SRDI) Service) 和发现服务 (Discovery Service) 是实现 Chord 路由机制的重点, 其他模块可以通过调用 JXTA 接口来实现。

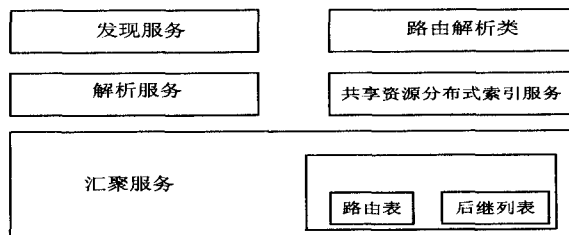


图 2 基于 JXTA 的 Chord 索引网络设计框架

2.1 汇聚服务

汇聚服务是路由实现的核心, 汇聚服务包括汇聚节点汇聚服务和边缘节点汇聚服务。汇聚节点汇聚服务负责联系与自己连接的边缘节点以及查询过程中的路由定位。边缘节点汇聚服务用于实现边缘节点与汇聚节点的连接, 负责将边缘节点的查询请求发送至汇

聚节点。汇聚服务关键类的设计及调用关系如图 3 所示,包括汇聚处理和 Chord 路由两部分。

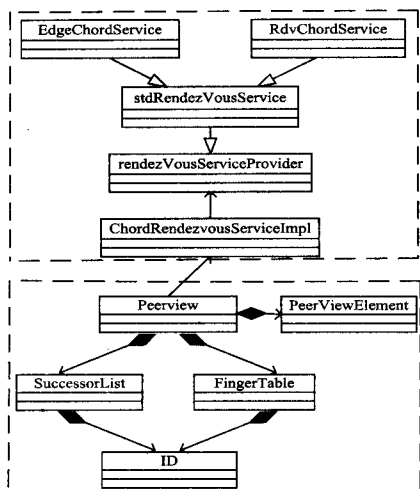


图 3 汇聚服务关键类的调用关系

1) 汇聚处理。

(1) 汇聚服务提供类 (RendezVousServiceProvider), 是一个抽象类, 包含联系边缘节点及获得其他服务所需的基本方法。

(2) 标准汇聚服务类 (StdRendezVousService), 派生于汇聚服务提供类, 实现标准对等组内汇聚节点与边缘节点调用其他服务所需的方法。

(3) 汇聚节点汇聚服务类 (RdvChordService), 派生于标准汇聚服务类, 用于管理所连接的边缘节点, 转发边缘节点的查询请求消息和汇聚节点的查询响应消息, 实现查找过程中的路由定位。

(4) 边缘节点汇聚服务类 (EdgeChordService), 派生于标准汇聚服务类, 负责处理边缘节点加入、退出网络, 实现边缘节点与汇聚节点的连接与分离。

(5) 汇聚服务实现类 (ChordRendezvousServiceImpl), 用于唤醒汇聚节点和边缘节点的汇聚服务, 实例化 RdvChordService 和 EdgeChordService。

2) Chord 路由。

(1) 标识符类 (ID), 负责管理 ID 的生成, 当资源加入网络时, 根据关键字为其分配唯一的 ID, 实现 ID 的大小及范围比较。

(2) 节点视图元素类 (PeerViewElement), 定义为最终类, 用于保存汇聚节点的 ID 等信息, 是路由表及后继列表的组成单位。

(3) 后继列表类 (SuccessorList), 每个汇聚节点维护一个后继列表类, 用于保存汇聚节点的后继信息, 实现了表项的插入、删除、查找等方法。

(4) 路由表类 (FingerTable), 每个汇聚节点维护一个路由表类, 启动汇聚节点的同时将生成一个路由表实例, 负责查找该汇聚节点的前驱、后继等信息。

(5) Chord 节点视图类 (PeerView), 是汇聚层路由定位的核心, 一方面周期性的更新路由表和后继列表以适应网络的动态性, 另一方面, 当汇聚节点收到消息时, 提取消息的类型并且选择正确的路由转发消息。

汇聚节点加入 Chord 网络可以通过以下两种方式: 1) 指定汇聚节点; 2) 通过本网段广播消息查找汇聚节点来请求加入网络。汇聚节点收到请求加入的消息后调用 PeerView 的 FindSuccessor() 方法来查找请求加入节点的后继, 若找到则直接回复加入响应消息, 若找不到则转发至最近前驱继续寻找直到找到该后继。请求节点收到加入响应消息后, 首先将其直接后继加入到路由表与后继列表中, 同时启动自适应算法, 周期性地更新路由表与后继列表。节点退出网络时必须执行退出操作, 分别将退出消息发送给其前驱和后继, 前驱和后继收到退出消息后, 将退出节点的信息从后继列表和路由表中删除。

2.2 共享资源分布式索引

共享资源分布式索引服务是实现分布式通告查找的基本条件, 为网络中的资源定位提供索引服务。当节点发布通告时, 首先将通告在本地缓存, 同时为通告生成一个类似散列表的索引消息, 其散列键为该索引的属性, 散列值为包含该通告的节点, 然后根据 Chord 协议将该索引发布出去。节点查找通告时, 首先找到包含该通告索引的汇聚节点, 再由该汇聚节点将查找请求转发至包含该通告的汇聚节点。为了保证有节点加入或退出时索引发布的正确性, 共享分布式索引服务每隔 30 秒将本地缓存通告的索引发布一次。共享分布式索引的 UML 序列图如图 4 所示。先由 SRDI 生成通告索引 ID 和通告索引消息, 然后发送至解析服务 (Resolver Service), 经过解析后转发到汇聚服务, Chord 节点视图类 (PeerView) 根据生成的通告索引 ID, 经过 Chord 路由后送到端点服务 (Endpoint Service), 最后由解析服务解析索引发布请求并由 SRDI 保存通告索引。

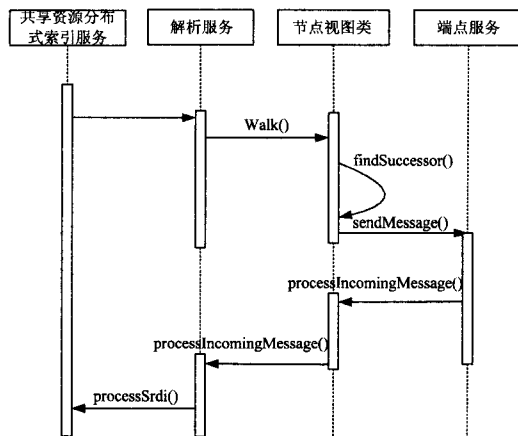


图 4 SRDI 序列图

2.3 发现服务

发现服务用于实现对等组内的对等体查找发现其它对等体、通告等资源。发现过程如下:首先由汇聚节点或边缘节点发出一条发现请求消息,若发送请求消息的节点为汇聚节点,它先在本地查找该资源,如果本地没有找到资源则依据 Chord 协议在其路由表中选择一项路由再将该发现请求消息转发至另一汇聚节点,该汇聚节点以同样的方式进行查找,直到找到该资源。最后,由找到资源的汇聚节点发送一条发现响应消息给请求节点。若发送请求消息的节点为边缘节点,它将该请求消息发送到自己所连接的汇聚节点,请求汇聚节点为其查找资源。发现服务使用的协议栈包括:发现协议(Discovery Protocol)、共享资源分布式索引机制(SRDI)、解析协议(Resolver Protocol)、Chord 协议(Chord Protocol)、端点协议(Endpoint Protocol)。各层之间通过封装消息和设置消息服务标识来实现通信。

3 实验与分析

文中基于 JXTA 平台和 JTS(JAVA Topology Suite, JTS)^[14] 中间件,用 Java 语言开发实现了上述 P2P 空间矢量数据索引网络原型系统。测试环境为 Windows XP, JRE1.6.0_04。为了避免查询数据的不同所带来的误差,实验中用随机生成的 15 块矢量数据做为样本。每次所取的查询响应时间均为查询这 15 个样本的平均响应时间。首先,我们测试了集中式索引网络与 P2P 混合式索引网络的查询响应时间,并进行对比分析。把相同矢量数据分别发送到集中式索引网络与分布式索引网络。实验结果如图 5 所示,横坐标表示用户节点数量,纵坐标表示平均查询响应时间,单位为毫秒。对于集中式索引网络:随着客户节点数量的增加,平均查询响应时间迅速增加;对于分布式索引网络:随着客户数量的增加,平均查询响应时间增加较缓慢。此外,从图 5 可以看出,分布式曲线一直在集中式

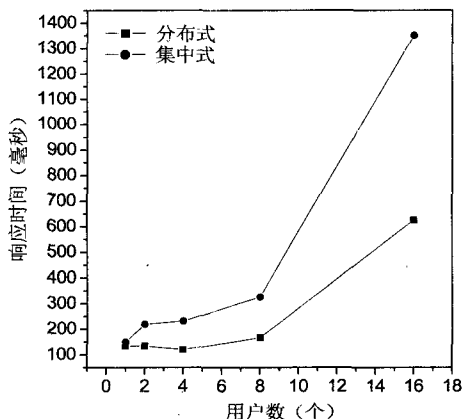


图 5 集中式与分布式索引网络平均查询时间的比较图

曲线的下方,即当用户节点数量相同时,分布式索引网络的查询响应时间始终小于集中式索引网络的查询响应时间,并且随着用户数量的增加,差距逐渐增大。

其次,为了深入了解汇聚节点数量对平均查询响应时间的影响,我们以汇聚节点数量为自变量做实验。实验测试了三组数据,分别固定用户数为 1、8、16。汇聚节点数量与查询响应时间的关系如图 6 所示,横坐标表示汇聚节点数量,纵坐标表示平均查询响应时间,单位为毫秒。

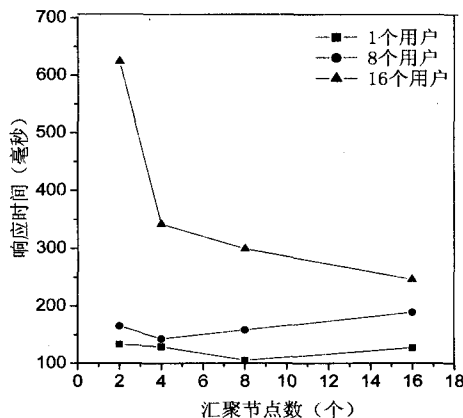


图 6 不同用户数量,汇聚节点数量与查询响应时间的关系图

影响查询响应时间的因素是多方面的。当汇聚节点数量增加时,矢量数据会被分散到更多的汇聚节点上,此时,将会有更多的计算机来响应用户的查询请求,因此查询响应时间会减少。然而,另一方面,汇聚节点数量的增加不可避免的导致路由表项的增加,相应的路由跳数的增加,因此响应时间会增加。从图 6 可以看出,当用户数量为 1 和 8 时,查询响应时间基本稳定,波动较小。当用户数量为 16 时,随着汇聚节点数量的增加,查询响应时间逐渐减少。由此可见,当查询用户数量较大(用户数量为 16)时,接受用户查询的计算机数量是影响查询时间的决定性因素,此时,查询响应时间随汇聚节点的增加而减小。

4 结束语

P2PGIS 是 GIS 发展的一个重要方向,P2P 索引网络是 P2PGIS 的重要组成部分。文中利用 Chord 协议,扩展和改变 JXTA 协议规范,整合结构化 DHT 技术,实现了一个高效的 P2P 空间矢量数据索引网络。并将该索引网络应用于 GIS,形成了一个完整的分布式地理信息服务系统。实验表明,该系统相对于集中式地理信息服务系统在查询效率上有着明显的优势,并且随着查询用户数量和汇聚节点数量的增加,这种优势更加突出。文中的路由机制只是实现了 Chord 协议。

(下转第 9 页)

特征检索方法相比拥有更高的正确率。

6 结束语

文中从谱残差模型和 pLSA 的理论介绍以及实验分析的基础上,研究了基于显著区域潜在语义特征的图像检索方法。该方法在构建图像区域语义模型时具有两个优势:首先,该模型不需要对庞大的图像集进行标注,这样就可以更加有效地利用有限的图像资源;其次,该模型只需对图像的显著特征进行分析,避免了背景对检索效果的影响。因此,该模型的检索正确率比传统的基于全局特征的图像检索方法更高。

然而,文中的研究仍然存在一些不足,需要继续完善和探索。文中 pLSA 的两个参数:视觉词汇表的长度和区域潜在语义个数的取值都是经验值,而这两个参数对图像分类检索的效果有重要影响,因此,怎样合理的设置这两个参数将是下一步的研究内容。

参考文献:

- [1] 徐庆,杨维维,陈生潭. 基于内容的图像检索技术[J]. 计算机技术与发展,2008,18(1):126-131.
- [2] Vogel J, Schiele B. Natural scene retrieval based on a semantic modeling step[C]// International Conference on Image and Video Retrieval, LNCS. Dublin, Ireland:[s. n.],2004:207-215.
- [3] Li Feifei, Perona P. A bayesian hierarchical model for learn-

ing natural scene categories[C]// IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington, DC, USA:[s. n.],2005:524-531.

- [4] Wang J Z, Li J, Gio W. Simplicity: Semantics-sensitive integrated matching for picture libraries[J]. IEEE Trans. on PAMI,2001,23(9):947-963.
- [5] 冯亚,耿国华,周明全,等. 基于颜色特征图像检索与相关反馈综合研究[J]. 计算机技术与发展,2007,17(12):251-254.
- [6] 卢敏. 基于生物视觉特征的计算模型研究[D]. 厦门:厦门大学,2008.
- [7] Hou Xiaodi, Zhang Liqing. Saliency Detection: A Spectral Residual Approach[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Minneapolis, USA:[s. n.],2007:1-8.
- [8] Dirk W, Christof K. Modeling attention to salient proto-objects[J]. Neural Networks,2006,19(9):1395-1407.
- [9] 葛涛,冯松鹤. 基于层次和动态阈值的图像显著区域检测方法[J]. 计算机应用,2006,26(11):2721-2723.
- [10] Hofmann T. Probabilistic latent semantic analysis[C]// The 22nd Annual ACM Conference on Research and Development in Information Retrieval. Berkeley: ACM Press,1999:50-57.
- [11] 李晶,姚明海. 基于支持向量机的语义图像分类研究[J]. 计算机技术与发展,2010,20(2):75-78.
- [12] 刘志刚,李德仁,秦前清,等. 支持向量机在多类分类问题中的推广[J]. 计算机工程与应用,2004,40(7):10-13.

(上接第4页)

对于一个应用于 P2PGIS 的索引网络,可以进一步将矢量数据的一些地理特性(如邻近相关性等)引入到路由算法中,相关工作值得进一步探索研究。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Finkel R A, Bentley J L. Quad Trees a data structure for retrieval on composite keys[J]. Acta Informatica,2004,4(1):1-9.
- [4] Skvortsov A V. Algorithms for Improving the Quality of R-Trees[J]. Russian Physics Journal,2001,44(6):588-595.
- [5] 赵芳芳,张军. 多尺度空间数据索引方法研究[J]. 测绘工程,2008,17(2):26-29.
- [6] Mondal A, Lifu Y, Kitsuregawa M. P2PR-Tree: an R-Tree based spatial index for peer-to-peer environments[C]//Proceedings of the International Workshop on Peer-to-Peer Computing and Databases. Greece: Heraklion,2004:516-525.
- [7] Tanin E, Harwood A, Samet H. Using a distributed QuadTree

index in peer-to-peer networks[J]. The International Journal on Very Large Data Bases,2007,16(2):165-178.

- [8] Stoica I, Morris R, Karger D, et al. Chord: A scalable Peer-to-Peer lookup service for internet applications[C]//In: Proceedings of the SIGCOMM 2001. San Deigo, CA, USA:[s. n.],2001:149-160.
- [9] WU Jia-gao, JIANG Nan, ZOU Zhi-qiang. HPSIN: a new hybrid P2P spatial indexing network[J]. The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications,2010,17(3):66-72.
- [10] Oaks S, Traversat B, Gong L. JXTA 技术手册[M]. 技桥,译. 北京:清华大学出版社,2004.
- [11] Sun Microsystems, Inc. Project JXTA 2.0 super-peer virtual network[EB/OL]. 2003-04-25. <http://research.sun.com/spotlight/misc/jxta.pdf>.
- [12] 吴胜浩,钟亦平,张式永. JXTA: 新型的网络计算环境[J]. 计算机工程,2004,30(9):4-6.
- [13] 陈宇,唐旭章. 基于 P2P 系统的 JXTA 技术探析[J]. 计算机工程,2002,28(10):18-19.
- [14] VIVID Solutions. JTSopology suite technical specifications v1.4 [EB/OL]. 2003-08-17. <http://www.vividsolutions.com/jts/jtshome.htm>.