

基于 JXTA 架构的对等网络关键技术研究*

张 智¹, 李瑞轩²

(1. 武汉科技大学 计算机学院, 湖北 武汉 430070; 2. 华中科技大学 计算机学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 较为深入地分析了基于 JXTA 架构的对等网络关键技术, 着重对 JXTA 虚拟网络、JXTA 资源的发布、发现机制等核心问题进行了探讨, 指出了目前 JXTA RPV(Rendezvous Peer View) 查询策略在效率上存在的不足, 并针对这些不足提出了改进意见。

关键词: 对等网络; JXTA; 虚拟网络; 发布和发现; 集合点

中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1001-3695(2007)03-0253-03

Research on Key Technique of JXTA-based Peer-to-Peer Network

ZHANG Zhi¹, LI Rui-xuan²

(1. College of Computer Science & Technology, Wuhan University of Science & Technology, Wuhan Hubei 430070, China; 2. College of Computer Science & Technology, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: Analyzed the key technique of JXTA-based Peer-to-Peer network thoroughly, the JXTA virtual network, the publication and discovery mechanism of JXTA resources were discussed with emphasis. The author indicated that the recent JXTA RPV discovery mechanism had some shortage in efficiency, and then some improving idea were put forward.

Key words: peer-to-peer network; JXTA; virtual network; publication and discovery; rendezvous

P2P 对等网络是一种与传统 C/S 或多层服务器网络完全不同的网络体系结构, 对等网络中的节点可以彼此直接通信, 这种通信无需依赖于集中式服务器或资源就可以完成^[1]。通过创建强伸缩性、高可用性和强容错能力的健壮性自组织计算资源网络, P2P 体系结构使真正的分布式计算成为可能。

JXTA(Juxtapose) 是美国 Sun 公司于 2000 年向业界推出的, 目的是为 P2P 对等网络应用开发提供一个统一的平台, 用于解决现代分布计算尤其是点对点计算中出现的问题^[2]。JXTA 技术具有平台无关性、操作系统无关性以及语言无关性, 它采用了第三代 P2P 网络模型为主的混合型网络模型, 提供了小型、简单、便于开发的构造模块, 使开发者从复杂工作中得以解放, 可以潜心关注于创建各类新颖的、创造性的分布式应用。目前, JXTA 通过 Java 技术和 XML 数据表达的结合, 实现了新一代统一、安全、互操作以及异构的应用, 将来的 JXTA 技术将不受到内存的限制而支持更多小型移动设备。JXTA 技术是 Sun ONE 互联网战略的延续, 为了鼓励和支持该技术的发展, JXTA 项目采用了开放源码的方式, 这吸引了大量业界人士参与到 JXTA 技术的研究与应用当中。

1 JXTA 关键技术

1.1 JXTA 虚拟网络

在 JXTA P2P 系统中虽然希望每个 Peer 之间都可以进行直接通信, 但在现实网络中存在许多情况导致 Peer 之间无法相互直接通信, 这些可能的情况包括: 防火墙; NAT 设备;

代理服务器; 动态 IP 分配等。

由于 JXTA P2P 网络不是推翻现有的网络结构, 而是在现有的网络上构建一个符合 P2P 特点的重叠网络 (Overlay Network)^[3], 同时又不局限于现有网络协议, 因此这需要将现有网络映射成为 P2P 虚拟网络(图 1), 虚拟对等网络还要考虑到现有网络上的多平台、多语言等异构性。

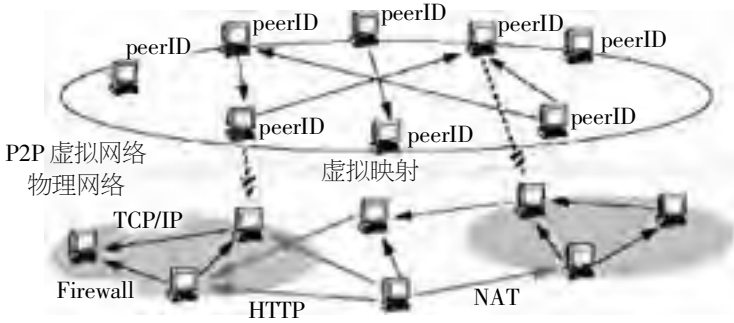


图 1 JXTA P2P 虚拟网络

在虚拟网络中, JXTA 系统必须能唯一地标志该网络上的所有对等体和可用资源, 因此, JXTA 系统必须定义自己的独立于 IP 地址和 DNS 的命名规则, 即 JXTA P2P 系统必须创建虚拟命名空间, 这使得 JXTA P2P 系统上的节点、资源或服务拥有自己的永久身份标志, 从而能够实现有效的资源搜索。JXTA 使用一个基于 URN(Universal Resource Name, 统一资源名)的虚拟身份来标志 P2P 网络, JXTA 不仅将身份标志分配给对等体, 还将它分配给在 P2P 网络中具有一定重要性的所有网络资源, 这些资源包括数据信息、应用程序代码段(如服务)、对等组或对等体之间的虚拟通信通道等。JXTA 的解析器机制

收稿日期: 2005-10-18; 修返日期: 2006-03-27 基金项目: 武汉科技大学科学研究发展基金资助项目(2006XY21); 国家自然科学基金资助项目(60403027)

作者简介: 张智(1975-), 男, 湖北黄石人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为对等计算、Web 服务; 李瑞轩(1974-), 男, 湖北宜昌人, 副教授, 博士, 主要研究方向为 Web 与数据库、分布式异构系统集成。

能够实现将一个虚拟身份标志绑定到一个 IP 地址上的操作。

对于 , , 等问题,可以由 JXTA 的网关 Peer 来解决。网关 Peer 通常作为一个缓存消息的虚拟代理,用来在 Peer 间传递消息。如果一个源 Peer 想与另一个目的 Peer 交流,源 Peer 只能发起 HTTP 通信,网关 Peer 缓存这个消息直到目的 Peer 使用 HTTP 联系该网关 Peer 请求获得发给它的消息,也就是目的 Peer 只能通过查询方式获得发给它的消息。图 2 说明了网关 Peer2 是怎样作为 Peer1 和 Peer3 之间的交互接口的。

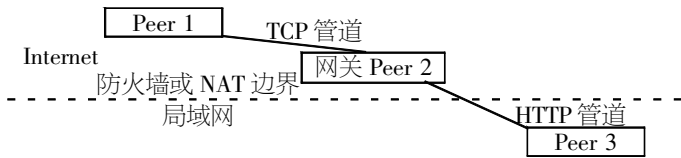


图 2 JXTA 的网关 Peer

网关将从 Peer1 来的 TCP 消息转换成 HTTP 消息传递给 Peer3。当消息从 Peer1 发出时,通过 TCP 发往网关 Peer2,网关 Peer2 存储了这个消息,直到 Peer3 向它发出获得消息的 HTTP 请求。

针对 问题以及 P2P 网络中 Peer 可能会消失或突然出现的情况,JXTA 路由 Peer 可以改善这些可能发生的地址变化情况。JXTA 中的一个路由 Peer 是一个支持 Peer 端点协议的 Peer(不是所有的 Peer 都需要实现该协议),因为与传统的网络路由器一样,只需要少数几个路由器去支持一个大网络。JXTA 路由器和传统的路由器非常相像,最主要的区别是 JXTA P2P 不是非常固定并且包括了很多非静态地址。当地址发生变化时,路由器 Peer 能够在 Peer 之间确定路由的有效性以及建立新的路由。

1.2 JXTA 资源发布机制

在 JXTA 中,用来交换 P2P 网络上可以获得的任何资源,如消息、Peer、对等组、管道以及服务等,均是使用基于 XML 的 JXTA 通告(Advertisement)来描述的。例如,一个模块类通告架构如下:

```
xs:element name = "MCA" type = "jxta:MCA" /
xs:complexType name = "MCA"
  xs:element name = "MCID" type = "JXTAID" /
  xs:element name = "Name" type = "xs:String" minOccurs = "0" /
  xs:element name = "Desc" type = "xs:anyType"
minOccurs = "0" /
/xs:complexType
```

JXTA 定义了以下两种类型的资源服务发布机制:

- (1) 对等组发布。对等组服务是包含服务实例的集合,由对等组内每个对等体来实例化,但是否实例化取决于对等体和对等组的实现,一些对等组要求每个成员均要实例化所有的对等组服务,而另外一些对等组的实现则把决定权交给对等体,一般情况下,每个对等体将只实现自己需要使用的对等组服务。
- (2) 对等体发布。对等体服务只能由发布该服务的对等体来实例化,对等体在加入一个对等组之后,它可以在任何时候通告对等体服务(通过发布遍及整个对等组的通告来实现),还可以在多个对等组发布相同的服务(只要该对等体属于每个对等组),对等体成员可以在任何时候发现对等体服务。

对等组服务的优势在于这些服务实例可运行在多个成员上并潜在彼此协作,某个对等体发生故障时,还可以从另一个对等体成员那里获得服务。其缺陷在于对等组服务与其所在的对等组密切相关,对等组服务在对等组建立之后无法进行及

时、有效的更新,除非重新再创建一个新的对等组。

对等体服务的优势在于灵活性更高,可随时在多个对等组内发布通告;其缺陷是当对等体成员通过搜索服务通告来发现对等体服务时,直到主要有一个对等体实例化并通告了该服务之后,该服务才可用,如果该对等体不可用了,则该服务也将无法使用。

1.3 JXTA 资源发现机制

在 JXTA 中,资源发现可以采取如下一些策略:

- (1) 基于本地缓存的发现。以往所有被发现的资源信息通告均会在节点中进行缓存,节点可以直接而快速地在本地查询这些历史通告,从而获取有用的资源信息,虽然有些通告有可能过时,但却比异地搜索要高效得多。
- (2) 基于 IP 多播的发现。在对等组内部,节点可以发起 IP 多播查询,所有收到该消息的对等体均必须给出响应。这种方法可以让查询节点在不知道资源提供者具体地址的情况下发送查询消息,而且 IP 多播可以减少使用带宽,有效地避免 P2P 网络中消息的洪泛。
- (3) 基于集合点(Rendezvous)的发现。集合点是一个能够处理来自其他节点查询的特殊对等体,集合点可以作为搜索的传递者,将发现请求转发到其他的集合点,利用集合点,可以发现其他对等组内的服务资源。

以下是 JXTA 资源发现机制涉及的一些关键技术^[4~6]:

- (1) 共享资源分布式索引(Shared Resource Distributed Index, SRDI)。JXTA 使用了一种称为共享资源分布式索引的分布式算法,以创建并维护网络中资源的一个总体索引。在 JXTA 中,资源是用通告形式的元数据(实质上就是 XML 文档)来描述的。通过一组特定的属性,用 SRDI 在网络范围索引这些公告。维护的分布式索引类似于一个哈希表(Hash Table),其索引的属性作为哈希键,而哈希值映射回包含实际公告的源节点,因而可以在聚集网络上的任何地方根据这些属性进行查询。这样,通过定位具有所需公告的节点,SRDI 就可以答复在网络中的公告查询。当发布新的通告时,对等体使用 SRDI 将通告索引发送给所属的集合点。这种集合点与所属对等体的层次关系保证了解析请求只在集合点之间扩散,于是在查找某个通告时,大大减少了被搜索的对等体的数量。

- (2) 松散一致性分布式哈希表(Loosely-consistent DHT)。DHT(Distributed Hash Table)是大多数 P2P 网络所采取的资源定位方式。它首先将网络中的每一个节点分配虚拟地址(VID),同时用一个关键字(KEY)来表示其可提供的共享内容。取一个哈希函数,这个函数可以将 KEY 转换成一个哈希值 H(KEY)。网络中节点相邻的定义是哈希值相邻。发布信息时就把(KEY, VID)二元组发布到具有与 H(KEY)相近地址的节点上,其中 VID 指出了文档的存储位置。资源定位时,就可以快速根据 H(KEY)到相近的节点上获取二元组(KEY, VID),从而获得文档的存储位置。

但是随着索引更新的增加,维护 DHT 的代价将呈指数增加,使得保存稳定的分布索引是不现实的。另一方面,当拥有 DHT 的节点或资源离开时,它所维护的一组索引就会在一定时间内无法使用(直到可靠的节点再次发布它)。基于一种自适应性的方式,JXTA 提出了一种松散一致的 DHT,用于处理 P2P 网络中节点的易变特性。松散一致的 DHT 可以这样理

解: JXTA 网络是由集合点构成的超级节点网络^[7], JXTA 的每一个集合点均拥有一个自己所知的动态 RPV(Rendezvous Peer View, 集合点视图), 并及时维护之, 由这些集合点视图形成了一个松散一致的分布式哈希表, 集合点将把无法根据自己的索引缓存进行解析的查询转发给其他集合点。

(3) 集合点视图(Rendezvous Peer View, RPV)。RPV 是某个节点的已知集合点列表, 按各个集合点的唯一节点 ID 排序。在 DHT 算法中使用的散列函数在每一个节点上均是相同的, 它用于确定一个(本地不能解析的) 查询请求应该转发到哪一个集合点。集合点可能暂时或永久地保存一个不稳定的 RPV, 甚至是空表。所有变得不可达的集合点均会从节点的 RPV 中删除。超级节点网络中每一个集合点均定期向其 RPV 中随机选择的集合点发送其已知集合点的随机子集。这样做是为了保证 RPV 最终覆盖整个网络, 并适应底层物理网络所发生的任何分离或者合并。注意, 在任何给定时间, 由网络中不同集合点所维护的 RPV 可能彼此不同。

为本地收集 RPV 的算法如下: 集合点定期在本地 RPV 中随机挑选给定数量的集合点, 并向它们发送消息, 从 RPV 中删除没有回复的集合点; 另外, 集合点还可以从预定的种子集合点处得到其他集合点的信息。对等组定义了自己的种子集合点, 任何对等体均可以成为种子集合点, 只有当无法得到任何集合点的信息, 或者初始化为集合点时, 将使用种子集合点, 这就降低了对种子集合点的依赖性。集合点建立起自己的 RPV 后, 种子集合点也作为集合点。如果 P2P 网络相对稳定, RPV 将很快建立起关于其他集合点的信息。

(4) RPV 遍历器(RPV Walker)。在解析查询时, 哈希函数是针对集合点自己的 RPV 执行的。由于可能有多个现有的集合点断开连接, 或者多个新的集合点加入 P2P 网络, 所以如果哈希函数没有立即解析这个查询, 就会引入一个 RPV 遍历器, 并将查询转发给有限数量的其他集合点。这种限定范围遍历器所使用的算法被设计为“插入式的”, 它可以根据实际的网络方案进行定制。

RPV 遍历器工作原理如下: 当一个边缘对等点 P 利用集合点进行查询时, P 首先在该集合点的 RPV 中随机选择一个目的集合点 R, 并发送查询给 R, 如果 R 有满足条件的信息, 就停止查询; 如果 R 没有所查找的信息或者响应的数目达不到要求, 并且如果 R 是第一个接收到该查询的集合, 则将查询转发给 R 的 RPV 中比自己 PID 小 1 (- 1) 的 R' 和比自己大 1 (+1) 的 R 的两个集合点。因此消息将向 RPV 中的两个相反方向转发, 消息以这种方式发送, 直到有满足查询条件的响应, 或者两个方向均到达了 RPV 的尽头, 或者 Walker 步为止。由于 RPV 是根据对等体 ID 来排序的, 这确保了每个集合点只被访问一次。有限步骤遍历器给 DHT 查找提供了回馈机制, 两者的结合使得在自主、无结构网络上应用 DHT 更可行。

2 对 JXTA RPV 查询策略的改进

2.1 RPV 查询策略存在问题

通过分析 JXTA RPV 查询策略, 可以发现该机制存在如下一些问题:

(1) JXTA 网络没有严格限制何种对等体才可以成为集合点, 实际上任何对等体均可以成为集合点, 这势必会产生以下

两种情况: 网络中的集合点过多, 会导致 RPV 过大, 遍历 RPV 时间过长, 同时整个网络的消息冗余将会增大; 网络中集合点过少, 负责处理和转发查询的集合点负载过大, 导致集合点成为网络瓶颈, JXTA 基于超级节点的混合网络结构将失去结构优势。

(2) RPV 表只是简单地根据对等体 ID 进行排序, 而对等体 ID 仅仅是对等体的唯一标志而已, 并不能给查询提供更多的有用信息, 因此随机选取初始集合点以及从 RPV 的两个方向选择下一跳的方法并没有可靠的依据; 同时在查询没有结束之前, 对等体无法做到最快、最少的遍历 RPV。

(3) 现有集合点转发查询消息的机制是建立在 RPV 趋向一致的前提下, 随着 P2P 网络规模变大, 维护 RPV 内容趋向一致性的代价越来越高, 如果 RPV 不能趋于一致, 那么 JXTA 网络查询到达的有效集合点数目将减少, 查询成功率也会大大降低。

2.2 RPV 查询策略的改进

针对 RPV 查询策略的一些问题, 可以进行如下改进:

策略 1 引入优先级的概念。对 RPV 中的集合点赋予不同的优先级, 每次选择高优先级的集合点进行消息转发, 这样有利于快速响应。优先级设置可以考虑以下情况:

(1) 对位于同一个对等组的集合点要给予高优先级。由于对等组通常是由一些具有共同兴趣的共享资源和服务的对等体构成的, 本组内的集合点具有满足条件信息的概率较大, 因此, 可以把它们的优先级设置得高一些。

(2) 随着 P2P 网络的逐渐“变老”, 对等体会发现有一些集合点, 它们总是对其发送的请求能返回较为满意的结果, 这说明这些集合点可能存储了较多的信息资源, 或者它们和该对等体有相同的兴趣, 因此可以将这些满意度较高的集合点的优先级设置得高一些; 相反低满意度的集合点分配较低的优先级。

(3) 在 RPV 中通常存在两种特殊类型的集合点, 即入网点集合点和种子集合点。入网点是 JXTA 提前配置好的一些集合点, 一般在对等体第一次加入 JXTA 网络时使用; 种子集合点通常用于 RPV 表的更新。为了防止避免过多地使用入网点集合点和种子集合点而产生的瓶颈, JXTA 通常规定它们是最少用于转发请求的集合点, 因此, 在 RPV 中可以对这些集合点配置较低的优先级。

策略 2 引入新的 RPV 一致性机制。随着 P2P 网络规模变大, 维护 RPV 内容趋向一致性的难度加大, 如果 RPV 不能趋于一致, 那么 JXTA 网络查询到达的有效集合点数目将减少, 查询成功率也会大大降低。因此, 可以考虑将现有一个 RPV 表分成两个表, 即 RPV1 和 RPV2, 其中 RPV1 存放本组内部的集合点, RPV2 存放其他组的集合点。这样 RPV1 趋于一致的可能性大大增加; 而 RPV2 相对原有的 RPV 来说, 由于集合点数目减少, 更新的代价就会降低。同时, 结合策略 1 的第(1)点, 将更有利于请求的快速响应。

策略 3 引入 P2P 信任评估机制。在 P2P 网络中, 存在一些信任等级较低、有潜在或直接危害的一些对等体, 而 JXTA 并没有严格限制这些对等体成为集合点, 因此, 有必要引入 P2P 信任评估机制来评估想成为集合点的对等体, 提高 RPV 中集合点的可信度。评估集合点的一些因素包括在线率、通畅情况、资源连接情况、满意度、服务质量以及用户评价、其他用户推荐度等。

机制; 降低节点位置精确度的要求, 设计具有安全性和 QoS 支持的路由协议等。

表 1 各种位置辅助路由转发策略及恢复策略的比较

名称	可扩展性	路径选择策略	记忆性	无路由自环	鲁棒性	局部化
MFR	是	单路径	无	是	低	是
NFP	是	单路径	无	是	低	是
GRS	是	单路径	无	是	低	是
Compass Routing	否	单路径	有	否	高	否
DREAM	否	多路径	有	否	高	否
LAR	否	多路径	有	否	高	否
EM-GMR	是	多路径	无	是	高	是
Greedy / Flooding	是	单 / 泛洪	有	是	高	是
Terminode	是	单路径	有	是	低	是
GEAR	是	单路径	无	是	高	是
GPSR	是	单路径	无	是	低	是
BGR	是	单路径	无	无	高	是

参考文献:

[1] 任丰原, 黄海宁, 林闯. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, **14**(2): 1148-1157.

[2] AKYIDIZ I F, SU W, SANKARASUBRAMANIAM Y, *et al.* Wireless sensor networks: a survey[J]. **Computer Networks: Elsevier**, 2002, **38**(4): 393-422.

[3] TAKAGI H, KLEINROCK L. Optimal transmission ranges for randomly distributed packet radio terminals[J]. **IEEE Trans. Commun.**, 1984, **32**(3): 246-257.

[4] HOU T C, LI V O K. Transmission range control in multihop packet radio networks[J]. **IEEE Trans. Commun.**, 1986, **34**(1): 38-44.

[5] NELSON R, KLEINROCK L. The spatial capacity of a slotted ALOHA multihop packet radio network with capture[J]. **IEEE Trans. Commun.**, 1984, **32**(6): 684-694.

[6] FINN G G. Routing and addressing problems in large metropolitan-scale Internetworks. ISU/RR-87-180[R]. [S. l.]: [s. n.], 1987.

[7] LIANG Qilan, REN Qingchun. Energy and mobility aware geographical multipath routing for wireless sensor networks: IEEE Wireless Communications and Networking Conference[C]. [S. l.]: [s. n.], 2005: 1867-1871.

[8] KRANAKIS E, SINGH H, URRUTIA J. Compass routing on geometric networks: presented at the 11th Canadian Conf. Comput. Geome-

try[C]. Vancouver: [s. n.], 1999.

[9] BASAGNI B, *et al.* A distance routing effect algorithm for mobility (Dream): MOBICOM 1998: proc. 4th Annual ACM/IEEE Int. Conf. Mobile Computing and Networking[C]. Dallas: [s. n.], 1998: 76-84.

[10] STOJMENOVIC I, XU Lin. Loop-free hybrid single-path/flooding routing algorithms with guaranteed delivery for wireless networks[J]. **IEEE Trans. Parallel Dist. Sys.**, 2001, **12**(10): 1023-1032.

[11] KO Y-B, VAIDYA N H. Location-Aided Routing (LAR) in mobile Ad hoc networks[J]. **ACM /Baltzer WINET J.**, 2000, **6**(4): 307-321.

[12] BLAZEVIC L, *et al.* Self-organization in mobile Ad hoc networks: the approach of terminodes[J]. **IEEE Commun. Mag.**, 2001: 166-175.

[13] YU Yan, GOVINDAN Ramesh, ESTRIN Deborah. Geographical and energy aware routing: a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks, UCLA/CSD-TR- 01- 0023[R]. [S. l.]: UCLA Computer Science Department, 2001.

[14] KARP B, KUNG H T. Greedy perimeter stateless routing for wireless networks: proc. 6th Annual ACM/IEEE Int 'l. Conf. Mobile Comp. Net. [C]. Boston: [s. n.], 2000: 243-254.

[15] GANESAN D, *et al.* Networking issues in wireless sensor networks [J]. **Journal of Parallel and Distributed Computing**, 2004, **64**: 799-814.

[16] WITT M, TURAU V. BGR: Blind Geographic Routing for sensor networks: accepted for publication: the 3rd Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems[C]. Hamburg : [s. n.], 2005.

[17] HEISSEN BUTTEL M, BRAUN T, BERNOULLI T. BLR: Beacon-Less Routing algorithm for mobile Ad hoc networks[J]. **Elsevier 's Computer Comm. Journal**, 2004, **27**(11): 1076-1086.

[18] FUBLER H, WIDMER J, MAUVE M. A novel forwarding paradigm for position-based routing (with implicit addressing): IEEE Computer Comm. Workshop[C]. Dana Point: [s. n.], 2003: 194-200.

[19] BLUM B, HE T, SON S. IGF: a state-free robust communication protocol for wireless sensor networks, CS-2003-11[R]. [S. l.]: Department of Computer Science, University of Virginia, 2003.

(上接第 255 页)

3 结束语

P2P 应用已经引起了全世界数百万计算机用户的关注, 从 Napster 到 Instant Messenger, P2P 应用已经跻身当今互联网上最广泛使用的应用之列。JXTA 寻求通过提供一套所有 P2P 应用程序均能使用的标准来解决 P2P 系统面临的孤立和无标准的开发难题, 为 P2P 网络应用开发提供了一个统一、安全、互操作的平台。目前 JXTA 已经在即时通信、文件共享、分布式计算、协同工作和网络游戏等众多领域得到了广泛应用。

参考文献:

[1] SWARAN M P, SARLA A S, WHINSTON A B. P2P networking: an information-sharing alternative[J]. **IEEE Computer**, 2001, **34**(7): 31-38.

[2] LI Gong. JXTA: a network programming environment[J]. **IEEE Internet Computing**, 2001, **5**(3): 88-95.

[3] REDLICH J P, SUZUKI M, WEINSTEIN S. Virtual networks in the Internet: IEEE the 2nd Conference on Open Architectures and Network Programming[C]. [S. l.]: IEEE Computer Society, 1999: 108-114.

[4] WATERHOUSE S R, DOOLIN D M, KAN G, *et al.* JXTA search: a distributed search framework for peer-to-peer networks[J]. **IEEE Internet Computing**, 2002: 68-73.

[5] BOTROS S, WATERHOUSE S. Search in JXTA and other distributed networks: proceedings of the 1st International Conference on Peer-to-Peer Computing[C]. Linkoping: IEEE Computer Society, 2002: 30-35.

[6] SANNA A, ZUNINO C, CIMINIERA L. A distributed JXTA-based architecture for searching and retrieving solar data[J]. **Future Generation Computer Systems, P2P Computing and Interaction with Grids**, 2005, **21**(3): 349-359.

[7] BEVERLY Y, HECTOR G M. Designing a super-peer network: ICDE 2003: proceedings of the 19th International Conference on Data Engineering[C]. Bangalore: IEEE Computer Society, 2003: 49-60.