

SSON: 一种基于结构化 P2P 网络路由的语义覆盖网络结构^{*})

于 婧 汪斌强

(国家数字交换系统工程技术研究中心 郑州 450002)

摘 要 本文基于结构化 P2P 网络路由机制,采用基于主题划分的方法,提出了基于结构化 P2P 网络路由的语义覆盖网络 SSON。SSON 通过结构化 P2P 网络的标识符映射机制,根据资源类别将结点组织成层次化的覆盖网络,该覆盖网络结构确保搜索限制在与查询主题相关的局部结点子集中。该结构充分利用了结构化 P2P 网络的优点,解决了基于非结构化 P2P 网络建立的语义覆盖网络的搜索低效问题,同时克服了结构化 P2P 网络仅支持精确匹配查找的缺点,为结构化 P2P 网络提供了可靠、高效的语义查询机制,极大地提高了查全率。

关键词 语义覆盖网络,结构化 P2P 网络,查全率,平均路径长度

SSON: A Semantic Overlay Network Structure Based on the Routing Mechanism of Structured P2P Network

YU Jing WANG Bin-Qiang

(NDSC, Zhengzhou 450002)

Abstract A semantic overlay network structure, which is based on structured P2P routing mechanism and topic partition, is presented. By assigning nodeid and key according to the topic, SSON collects the nodes with the similar topic into a cluster. When searching content, it first finds the cluster with the structured P2P routing mechanism, and then it limits the query in the range of cluster. Compared with the semantic overlay network based on unstructured P2P network, this structure provides more efficient search for topic cluster. At the same time, it provides the structured P2P network with effective approach to search for content based on complicated queries, and it realizes the semantic search and dramatically increases the search recall.

Keywords Semantic overlay network, Structured P2P network, Search recall, Average path length

1 引言

语义检索是指通过应用语义来描述标注资源,进行语义匹配,从而解决同义异形词和同形异义词所带来的问题,如检索的准确率低和不能找到想要得到的资源。Peer-to-Peer^[1] (简称 P2P) 技术能够提供基本的文件共享以及搜索功能,克服了传统 Client/Server 模式中服务器的瓶颈问题,充分利用了网络中的资源,是未来信息检索技术发展的基础。然而在信息检索方面,不同的 P2P 结构有各自的缺点及优势。结构化 P2P 网络可以实现高效的查找功能,但却不能支持基于语义的复杂检索;与之相反,非结构化的 P2P 网络可以较好地支持各种形式的信息检索,但它搜索策略的低效率令其无法在大规模网络内使用。因此,在利用 P2P 技术实现类似 Web 搜索引擎提供的信息检索功能时,我们不能完全照搬当前 P2P 结构的方案,而是应该另辟蹊径寻找更加有效的结构实现。语义覆盖网络^[2,3] (Semantic Overlay Networks, 简称 SSON) 应运而生。

语义覆盖网络是一种能够获得较高查询性能的网络组织结构。它的主要思想是将具有主题相似的结点组织在一起形成群(Cluster)。在语义覆盖网络建立之后,请求查询报文将只被转发到符合该请求内容主题的群中,这就降低了查询代价,同时提高了查询结果的准确度。当前对语义覆盖网络结构的研究中,许多都是基于非结构化 P2P 网络进行的^[4,5]。基本思想将非结构化 P2P 网络中的具有相似内容的结点组

织成群,每个群选择一个结点作为群的代表负责与其它群进行通信。网络构造时结点自身先进行资源整合,确定自己所属的分类,然后依此进行区域(zone)、群的融合,最终形成整个网络以群为单位的结构。查询时采用首先找到对应的群,然后在群内进行搜索的两级搜索机制。因为基于的是非结构化的 P2P 网络,所以在每一级别的搜索都是采用洪泛的方式。显然,这种方式并非高效。

本文提出的基于结构化 P2P 网络路由的语义覆盖网络结构 SSON 是采用结构化 P2P 网络中标识符映射机制及路由查找机制,根据资源类别将结点组织成层次化的覆盖网络,该覆盖网络结构确保搜索限制在与查询主题相关的局部结点子集中,充分利用了结构化 P2P 网络的优点,提供了可靠、高效的语义查询机制。

本文第 2 节简要介绍语义覆盖网络 SSON 的基本思想。第 3 节详细介绍了语义覆盖网络 SSON 的构建及查找机制。第 4 节对语义覆盖网络 SSON 的搜索性能进行分析研究。最后对本文进行了总结。

2 语义覆盖网络结构 SSON 简介

由于 SSON 是基于结构化 P2P 网络路由提出的,首先要介绍通用结构化 P2P 网络路由模型。

2.1 通用结构化 P2P 网络路由模型

文[6,7]对结构化的 P2P 网络路由系统定义了一种抽象的模型,用来涵盖 CAN^[8], Chord^[9], Pastry^[10] 以及 Tapes-

^{*}) 国家 863 计算信息技术领域重大项目资助课题(No. 2005-AA-121210)。于 婧 博士生,主要研究方向:对等网络。汪斌强 教授,博导,研究方向:宽带 IP 网络。

try^[11]等协议的基本概念。该模型可以使得我们在讨论时独立于特定的协议。在模型中,每个网络结点都被分配有唯一的结点标识(nodeId)。资源对象也通过系统定义的 HASH 函数产生唯一的资源标识(key)。结点标识和资源标识来自同一个 id 空间。将资源 key 存储在 nodeId 与 key 相等或者相近的结点上,该结点称之为 key 的根(root)。P2P 路由就是将对 key 的查询消息路由到 key 的根。为了有效地查找,所有的结点都维护一张结点和结点 IP 的对应表,也称路由表。另外,每个节点都维护一个邻居集合,该集合由一些在 id 空间与该结点 nodeId 相近的结点组成。

2.2 语义覆盖网络结构 SSON 简单描述

本文假定文档分类器和查询分类器可以由信息检索和数据挖掘领域中成熟的分类算法来实现,也可以让用户在安装 P2P 软件时自己对文档分类,查询时提交文档类别。

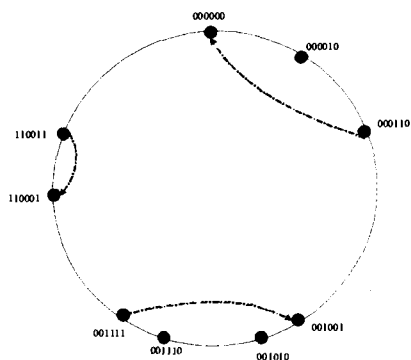


图1 语义覆盖网络结构 SSON 示意图

结点加入时,根据结点所存储资源类别对结点分配结点标识符(nodeId);在查找资源时,对要查找的资源对象根据所属类别分配资源标识符(key);结点间采用结构化 P2P 网络链接方式,而相同类别的结点则组成类似环状结构,我们将此环状结构称之为群(cluster)。图1是一个以基于 Chord 方式组织的语义覆盖网络结构 SSON 的示意图,总体来看,该结构实际上是在 IP 网络之上形成两层覆盖式结构;群间结点采用结构化 P2P 网络路由机制进行资源查找,群内结点采用遍历方式查找。

这种根据主题类别将结点组织成层次化的覆盖网络,能够保证将搜索限制在与查询主题相关的局部结点子集中,提供了一种基于复杂查询条件的、能有效搜索数据对象的方法。

3 语义覆盖网络 SSON 构建

语义覆盖网络是最终面向用户的网络应用,通过考虑资源的语义属性,如何高效、快捷地查找请求内容,是构建语义覆盖网络成功的关键。在构建语义覆盖网络 SSON 时,主要从请求和共享资源分类、用户请求的搜索算法两个方面进行研究。

3.1 资源分类模型

不同的结点包含的资源具有特定的主题,可以根据主题将结点分为一个或多个类别。假定网络中所有资源的类别集合定义为 $C=\{c_i, |1 \leq i \leq \infty\}$, 结点 n 所属的类别集合定义为 P_n , 则 $P_n \subseteq C$ 。定义 HASH 函数 $F(c_i)$, 将每一个资源类别 c_i 映射到标识符 b_i 上, 则定义结点 n 的结点标识符为 $NodeId(n)=(b_i, d(n))$, 其中 $d(n)$ 是根据结构化 P2P 网络特定路由算法得到的结点标识符, 这里结点 n 的结点标识符实际上是两段标识符的字符串的联合。若结点 n 对应的类别集合 P_n

有多个元素,则对应产生多个结点标识符 $NodeId(n)$, 为区分这多个结点标识符,定义每个结点标识符为 $NodeId(n, j)$, 其中 $1 \leq j \leq P_n$ 中元素数。

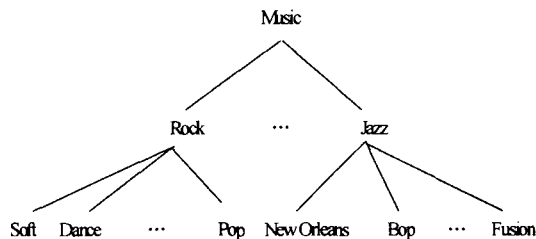


图2 Music 简单分类图

这里,我们假定结点标识符是以二进制数的形式表示,标识符 b_i 的位数为 b , $d(n)$ 的位数为 d , 则对应的结点标识符为 $(b+d)$ 位。对于 HASH 函数,要求在 b_i 中体现分类树中存在从属关系的类别的层次结构。例如,图2为 Music 简单分类图,若 b 为 6, 定义 $F(\text{Music})=000000$, $F(\text{Rock})=001000$, 则按照我们对 HASH 函数的要求, $F(\text{Soft})=001001$, $F(\text{Dance})=001010$, 依此类推。

对于请求的资源,也应按照主题将其归到一个类别中,再利用与结点归类相同的 HASH 函数 $F(c_i)$, 得到对应的标识符 b_i 。则请求的资源标识符为 $Key=(b_i, q)$, 其中 q 是根据结构化 P2P 网络特定路由算法得到的资源标识符, 这里请求的资源标识符实际上是两段标识符的字符串的联合。

3.2 网络构建机制

网络中每个结点需要维护的内容有:(1)路由表:用来进行结构化 P2P 网络的正常路由;(2)前驱结点、后继结点信息:用来在群内部路由;(3)群起始、中止标志:用来在群内部路由时对环结构的起始、中止进行标注。根据结点资源分类情况,一个结点可能存在多个结点标识符,对于每个结点标识符结点需要维护一整套上述内容。

对于每一个结点标识符 $NodeId(n, j)$, $1 \leq j \leq P_n$, 结点按照正常结构化 P2P 网络结点加入方式, 寻找一个已知临近结点 n' , 从 n' 发起对 $NodeId(n, j)$ 进行寻路, 找到插入点的位置, 获取路由表及前驱、后继结点信息, 并通知已存在结点更新对应表项。结点要对它的前驱、后继结点信息进行分析, 如果该前驱或者后继结点与本结点不在一个群内, 就将对应的群起始、中止标志置位。判别的依据就是对结点标识符 b_i 的分析, 如果与本结点的相同, 就表明是同一个群内的。通过该方式构建的网络, 总的来说是一个以结构化 P2P 网络结构方式组织的网络, 每对相邻的结点之间通过前驱、后继结点信息进行双向链接。

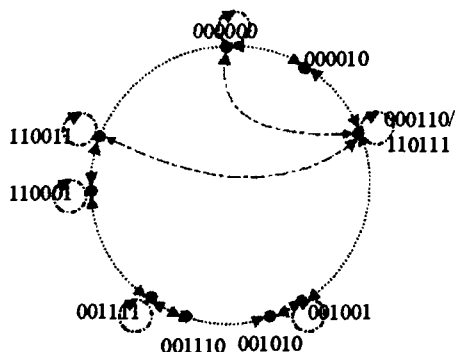


图3 语义覆盖网络结构示意图(1)

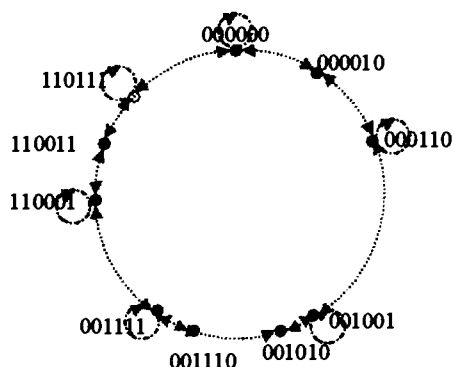


图4 语义覆盖网络结构示意图(2)

另外,利用此种网络构建机制,实际形成的网络形状并非如第1节中所述。图3是以基于Chord方式组织的语义覆盖网络结构的示意图。在该图中,结点000110同时也拥有结点标识符110111,所以在实际网络中,该结点存在两套位置信息。如图所示,结点110011的后继结点就是110111,而110111的后继结点就是000000,形成如此结构拓扑。实际上,我们可以把结点000110/110111拆开看,如图4,让该结点分做一个虚拟结点便可成为正常的结构化P2P网络结构。

而且,该结构中群的组织情况实际上并不是真正的环状结构。由于环结构在进行搜索的时候还需要判断始终,避免循环,而在我们所定义的群的组织结构中,有了群起始、中止标志位,如图3、4所示,每一个群的起始、中止结点,我们用一个自环来标明,这样在搜索时便有了搜索中止的判断标志,比环状结构更为高效。

3.3 资源搜索算法

资源搜索算法的主要思路是通过结构化P2P网络路由迅速查到与查询相同类别的群,然后在该群内部进行局部搜索。具体过程如下:

(1)当在某个结点 p 提交查询信息 Q 时,首先对 Q 进行分类,得到它的资源标识符记做 $key(Q)$ 。

(2)按照结构化P2P网络路由算法进行路由,在到达第一个与 Q 相同类别的结点时停止,这里假定该结点为 m ,判断的依据仍然是根据 m 与 $key(Q)$ 的 b_i ;则到达群的距离(以跳数计)为 $O(b)$,小于正常结构化P2P路由的距离 $O(b+d)$ 。

(3)若没有找到与 Q 相同类别的结点,就对该类别上升一个级别查找。以Music简单分类为例,若对类型Soft没有找到对应的结点,就上升到对Rock分类的查找。因为在资源分类中我们要求HASH函数计算得到的 b_i 能够体现分类树中存在从属关系的类别的层次结构,而在查找相同类别的群时,结构化P2P网络路由采用的是基于标识符最长匹配的方式,因此,可以采用上升层次的查找方式。

(4)群内搜索。在 m 处开始根据前驱、后继结点信息进行群内的搜索。首先根据群的起始、中止标志确定是否到其前驱、后继结点进行搜索,若该结点不是起始或者中止结点,就以遍历双向链表的方式向前、向后进行搜索,否则,就中止该搜索。假定该群内结点数为 N ,由于语义覆盖网络的搜索并不是找到一个对应的资源就停止,而是要返回多个相匹配的资源,因此,对群内的搜索实际上是整个的遍历过程,则群内搜索距离(以跳数计)为 $O(N)$,时间耗费最小 $O(N/2)$,最大 $O(N)$ 。

4 SSON 性能分析

在性能分析中,语义查询将指定相关的主题和若干个关

键字进行。我们采用以下2种指标对语义查询性能进行评价:1)查全率 $T(Q)$;2)搜索过程中的平均路径长度 $\bar{L}$ 。

查全率是指搜索到的符合条件的文档占网络中所有相关文档的比例。公式如下:

$$T(Q) = \frac{D_{get}}{D_{total}} \quad (1)$$

其中 D_{total} 是针对某个查询,P2P网络上分布的所有相关文档的集合, D_{get} 是实际搜索到的符合条件的文档的集合。由于结构化P2P网络路由算法只能进行完全匹配搜索,在这里是指对关键字进行完全匹配,因此,查询消息只发送到结点标识符与关键字计算得到的资源标识符相同或相近的结点上。当前结构化P2P网络中一般采用文件名作为计算资源标识符的依据,因此,只有在查询关键字与该文件名完全一致的情况下,才能查询到与关键字完全匹配的资源,故结构化P2P网络的查全率很低。而在结构化P2P系统上构建的语义覆盖网络SSON,采用基于主题的查询方式,查询消息将发送到所有与此查询主题相同的结点上,然后在每个结点根据关键字进行查询,扩大了查询结点的范围,因此,SSON能够极大地提高查全率。

另一方面,与结构化P2P网络相比,搜索的全面性必然导致搜索的路径长度的增加,这是不可避免的。由于SSON采用的群间结构化P2P路由,群内遍历的方式进行资源查询,因此,对于位数为 $(b+d)$ 的结点标识符, b 与 d 的取值对于搜索过程的平均路径长度 $\bar{L}$ 有很大的影响。按照我们前面对资源分类的描述,群内最大结点数为 2^d 。因此,整个搜索过程的最大距离为 $O(b) + O(2^d)$ 。可以看出,群内节点数越少,搜索效率越高。而资源标识符和结点标识符的总长度为 $(b+d)$,所以群内结点数的减少,也就是 d 的减少,在总长度不变的情况下,必然要求 b 增大,也就意味着更长的分类标识符,也就是更加详细的分类。所以在本结构下要实现高效搜索,必然要求有详细的资源分类。然而,资源分类的细化可能导致分类错误的增加,本算法中提出的上升层次的查找方式能够缓解分类错误导致的命中率下降的问题。

然而,与基于非结构化P2P网络构成的语义覆盖网络相比,SSON能够极大地提高查找主题群的效率,从而降低搜索的平均路径长度。这也是基于结构化P2P网络的语义覆盖网络的优势所在。

总结 结构化P2P网络本身只支持对于完全匹配关键字的查询,不能实现基于语义的复杂检索。本文提出的基于结构化P2P网络路由的语义覆盖网络SSON,是在结构化P2P网络路由的基础上,采用基于主题划分的资源搜索机制,通过对资源标识符和结点标识符的分配,使得含有相同主题的结点组织到一起构成群,搜索时先采用普通结构化P2P网络路由机制到达所属主题的群,然后将搜索限制在群内进行。SSON与普通结构化P2P网络相比,实现了基于语义的检索,并且在主题分类详细的情况下,虽然搜索的平均路径长度有所增大,但可以极大地提高查全率。同时,SSON充分利用了结构化P2P网络的优点,与基于非结构化的语义覆盖网络相比,它能够迅速定位主题群的位置,从而降低查询平均路径长度。

参考文献

- 1 Lua E K, Crowcroft J, Pias M, Sharma R, Lim S. A survey and comparison of peer-to-peer overlay network schemes. *Journal of IEEE Communications Survey and Tutorial*, 2005, 7(2)

(下转第18页)

BPEL 或 WSDI 的转换,对于组合服务的交互行为并没有给出形式化的描述和推理。文[23]尽管给出了基于 Pi-calculus 的组合服务的形式化描述,但是没有刻画服务的交互行为。

基于网格服务的不确定性,我们采用扩充的 Pi-calculus 来刻画网格组合服务的交互行为。与上述工作不同的是,本文首次提出网格组合服务的描述必须遵循抽象和具体相结合的原则,并将网格服务组合的层次结构和组合服务的动态交互特征纳入统一的概念体系,同时考虑了组合服务内外环境的条件约束,形式化描述了组合服务交互行为的模拟推理。

结论 形式化描述网格服务,是指导和验证服务的组合,产生机器可读的信息,实现网格服务组合优化的前提和基础。本文针对网格服务的动态行为交互特征和网格服务组合调用的有效性检查,提出基于 Pi-calculus 语义扩充的 CPi-calculus 及其操作控制语义,给出网格服务的行为交互模型和交互行为语义的形式化描述。与已有的形式化描述方法相比较,使用本方法能更好地推导验证组合服务的交互行为,有利于网格组合服务的结构描述向可执行规范转化;同时提供了行之有效的建模、推导和验证机制,有着重要的理论价值和实际意义。下一步工作将围绕如何验证组合服务的正确性和解决冗余问题而展开研究。

参考文献

- 1 Foster I, Kesselman C, Nick J M, et al. The Physiology of the Grid: An Open Grid Services Architecture for Distributed Systems Integration, 2002
- 2 Leymann F. Web Services Flow Language (WSFL 1.0). IBM, May 2001
- 3 World-Wide Web Consortium. Web services choreography description language. Candidate Version 1.0. Geneva, Switzerland, November 2005b
- 4 Andrews T, Curbera F, Dholakia H, et al. Business process execution language for web services. Version 1.1. BEA, IBM, Microsoft, SAP, Siebel, May 2003
- 5 Koehler J, Srivastava B. Web service composition: Current solutions and open problems. In: Proceedings of the 13th International Conference on Automated Planning & Scheduling, Trenton, Italy, 2003, 28~35
- 6 Meredith L G, Bjorg S. Contracts and Types. Communications of the ACM, 2003, 46(10): 41~47
- 7 Ferrara A. Web services: a process algebra approach. In: Proceedings of Second International Conference on Service-oriented Computing. New York, USA: ACM Press, November 2004. 242~51
- 8 Chirichiello A, Salaun G. Encoding abstract descriptions into executable Web services: towards a formal development. In: Proceedings of Web Intelligence 2005. New York, USA: Institution of Electrical and Electronic Engineers Press, December 2005
- 9 Foster H, Uchitel S, Kramer J, et al. Model-based verification of web service compositions. In: Proceedings of Automated Software Engineering 2003. Montreal, Canada, 2003
- 10 Foster H, Uchitel S, Kramer J, et al. Compatibility verification for Web service choreography. In: Proceedings of Second International Conference on Web Services, San Diego, CA, USA, 2004
- 11 Ankolenkar A, Burstein M, Hobbs J, et al. DAML-S: Web Service Description for the Semantic Web. In: Proceedings of the First International Semantic Web Conference (ISWC), Sardinia (Italy), June 2002
- 12 Narayanann S, McIlraith S. Simulation: Verification and Automated Composition of Web Services. In: Proceedings of the 11th Int'l World Wide Web Conference, 2002
- 13 Sirin E, Hendler J, Parsia B. Semi-automatic Composition of Web Services Using Semantic Descriptions. in Web Services: Modeling. In: Proceedings of the Architecture and Infrastructure Workshop in ICEIS 2003, Angers, France, April 2003
- 14 Milner R. Communicating and Mobile Systems: The Pi Calculus. Cambridge, Cambridge University Press, 1999
- 15 Milner R. Communication and Concurrency. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1989
- 16 Gu Q, Chen D X, Yu M, et al. Validation test of distributed program based on events sequencing constraints. Journal of Software, 2000, 11(8): 1035~1040
- 17 Berardi D, Calvanese D, De Giacomo G, et al. Automatic Composition of E-services That Export Their Behavior. In: Proceedings of ICSOC'03, Vol 2910 of LNCS, Italy, 2003. 43~58
- 18 Venzke M. Automatic Validation of Web Services. In: Proceedings of the 8th CaberNet Radicals Workshop, October 2003
- 19 Hamadi R, Benatallah B. A Petri-Net-Based Model for Web Service Composition. In: Proceedings of the 14th Australasian Database Conf Database Technologies. ACM Press, 2003. 191~200
- 20 Gwen S, Bordeaux L, Schaerf M. Describing and reasoning on Web services using process algebra. In: Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Web Services, San Diego, California, USA, 2004. 43~50
- 21 Brogi A, Canal C, Pimentel E. Formalizing Web Services Choreographies. In: ENTCS 105 (WS-FM'2004), Elsevier 2004. 73~94
- 22 Cámara J, Canal C, Cubo J. Issues in the formalization of Web Service Orchestrations. In: Proceedings of the Second International Workshop on Coordination and Adaptation Techniques for Software Entities, 2005
- 23 Lumpe M, Achermann F, Nierstrasz O. A Formal Language for Composition. In: Leavens G, Sitaraman M, eds. Foundations of Component-Based Systems, New York: Cambridge University Press, 2000
- (上接第 6 页)
- 2 Noervaag K, Doulkeridis C, Vazirgiannis M. Semantic Overlays for P2P Web Searching
- 3 Crespo A, Garcia-Molina H. Semantic Overlay Networks for P2P Systems: [Technical report]. Stanford University, 2002
- 4 Shen H T, Shu Y, Yu B. Efficient semantic-based content search in P2P network. IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, 2004, 16 (7): 813~826
- 5 Doulkeridis, Nrvag K, Vazirgiannis M. DESENT: Decentralized and Distributed Semantic Overlay Generation in P2P Networks: [Technical report]. AUEB, 2005 <http://www.db-net.aueb.gr/index.php/publications/technical-reports/>
- 6 Castro M, Druschel P, Ganesh A, Rowstron A, Wallach D. Secure routing for structured peer-to-peer overlay networks. In: Proc. of the 5th Usenix Symp. on Operating Systems Design and Implementation (OSDI 2002)
- 7 Wallach D S. A survey of peer-to-peer security issues. In: Proceedings of the International Symposium on Software Security, Tokyo, Japan, November 2002
- 8 Ratnasamy S, Francis P, Handley M, Karp R, Shenker S. A scalable content addressable network. In: Proceedings of ACM SIGCOMM'2001, August 2001
- 9 Stoica I, Morris R, Karger D, Kaashoek F, Balakrishnan H. Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for Internet applications. In: Proceedings of ACM SIGCOMM'2001, August 2001
- 10 Rowstron A, Druschel P. Pastry: scalable, distributed object location and routing for large-scale peer-to-peer systems. IFIP/ACM International Conference on Distributed Systems Platforms. Heidelberg, Germany, 2001
- 11 Zhao B Y, Huang L, Stribling J, Rhea S C, Joseph A D, Kubiatowicz J D. Tapestry: A resilient global-scale overlay for service deployment. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2004, 22(1): 41~53