

具有位置感知和语义特征的 P2P 网络模型

孙 新, 刘玉树, 刘琼昕, 郑 军

(北京理工大学计算机学院, 智能信息技术北京市重点实验室, 北京 100081)

摘 要: 非结构化 P2P 网络中常用的泛洪搜索方法造成了严重的通信消耗. 提出一种基于位置感知和语义的 P2P 网络模型, 在覆盖网络的构建过程中考虑底层的物理网络拓扑, 同时兼顾拓扑结构与共享资源之间的相关性. 该网络模型基础上, 给出了语义搜索算法. 实验结果表明, 提出的网络模型能够减少覆盖网络与底层物理网络拓扑不匹配带来的网络开销, 并且在查找性能和网络开销之间取得了良好的平衡.

关键词: P2P; 覆盖网络; 位置感知; 资源搜索

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2010) 11-2606-05

Semantic and Location-Aware Based Unstructured P2P Network

SUN Xin, LIU Yu-shu, LIU Qiong-xin, ZHENG Jun

(Beijing Key Lab of Intelligent Information Technology, School of Computer Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Unstructured P2P networks are widely used and popular due to their small maintenance overhead. However these systems suffer from the significant network overhead on flooding-based search. This paper proposes a Semantic and Location-aware based Unstructured P2P network (SLUP) taking advantage of the heterogeneous characters of nodes to cluster the nodes according to similar shared resources and physical distance. SLUP can not only alleviate the topology mismatch problem between the P2P overlay networks and the physical network, but also construct the relationship between resources and topology to increase the chances of finding the matching resources. Furthermore, semantic-based search algorithm is presented. Comparing the search performance in various overlay networks, simulation experiments show that SLUP and semantic-based search algorithm can significantly shorten the latency of the searching process and reduce the searching overhead.

Key words: P2P; overlay network; location-aware; resource search

1 引言

对等计算模式 (Peer-to-Peer Computing, P2P) 作为一种新型的体系结构模型, 提供了大规模异构环境下进行资源共享的有效途径. 非结构化 P2P 网络具有组织简单、适应高度动态性的特点得到了广泛应用, 但其常用的基于泛洪机制的资源搜索方法造成了严重的通信消耗.

首先, 基于泛洪的资源搜索方法具有很大的盲目性. 目前很多改进方法^[1,2]主要利用局部信息进行启发式搜索, 其搜索性能的改善程度仍然有限. 其次, P2P 覆盖网络的拓扑结构也是影响网络开销的另一主要原因^[3]. 很多研究工作为提高资源发现效率而构造特定的拓扑结构^[4~6], 但绝大多数工作很少考虑底层的物理网络拓扑.

在覆盖网络的构造过程中, 如果不考虑底层物理网络结构会带来覆盖网络拓扑与底层物理网络拓扑不匹

配 (topology mismatch) 的问题, 即覆盖网络中相邻的两个节点, 实际的端到端的距离可能很遥远. 研究显示, 在类 Gnutella 协议的 P2P 网络查询中, 70% 的流量由拓扑不匹配引起^[7]. 已有研究工作致力于解决拓扑不匹配造成低效路由的问题^[8~12], 但这些方法单纯考虑物理网络结构而忽略了 P2P 系统的应用特性, 实用性不足.

在实际 P2P 应用中, 节点的兴趣相对集中且呈现分组特性, 并且数据资源的访问往往具有很明显的局部性特征. 这种局部性特征既能够反映在节点共享的资源上, 也能反映到节点的资源查找行为上. 因此, 不同节点之间共享资源的相近性在一定程度上代表了它们资源访问兴趣的相近度. 那么, 在构建 P2P 覆盖网络时如果能够充分利用共享资源的特征组织节点、利用节点的访问特征指导消息的路由转发, 就能够获得优化的覆盖网络拓扑结构.

结合已有研究成果^[13,14], 本文提出基于位置感知

和语义的 P2P 网络模型 (Semantic and Location-aware based Unstructured P2P network, SLUP), 首先根据节点之间的物理距离将节点划分为若干个域. 在每个域内, 再根据节点共享资源的语义相近程度将节点划分为若干组. 资源搜索过程采用集中式和分布式相结合的方法: 一方面遵循层次式的集中管理在组内和域内传递资源定位消息, 使资源定位更高效. 另一方面, 每个节点都记录和维护朋友节点信息 (即曾经访问过的节点), 依据查询语义与节点共享资源的相似成度, 路由消息在朋友节点之间转发. 基于物理位置和资源相似性的分类特性, 以及朋友节点关系, 相对于将消息传递给陌生的节点, SLUP 模型中的资源搜索可以快速将查询传播到最有可能获得资源的节点, 有效控制搜索空间.

2 SLUP 网络模型

根据带宽、在线时间宽和处理能力的差异, 将节点分为超级节点 (Super Peer, SP) 和普通节点 (Normal Peer, NP) 两类. 根据节点性能的高低, 进一步将超级节点分为一级超级节点和二级超级节点. 可以采用自荐的方法确定超级节点, 也可以通过预先指定的方法确定超级节点.

定义 1 域 (Domain) 是物理距离较近的节点组成的逻辑单位, 域内节点的物理距离接近. 域由一级超级节点管理.

定义 2 组 (Group) 是具有相似共享资源的节点组成的逻辑单位, 组内节点的共享资源的数据内容相似. 组由二级超级节点管理.

每个节点都维护两类关系: 父子关系和朋友关系. 依据父子关系, 域、组和组内所有普通节点集中管理, 形成三层超级节点的覆盖网络. 每个节点同时维护自身的 朋友关系, 朋友节点是节点在查询过程中不断建立和完善的相识节点, 朋友节点之间以对等方式相连. SLUP 的网络模型如图 1 所示. 图中实线表示父子关系, 虚线表示朋友关系.

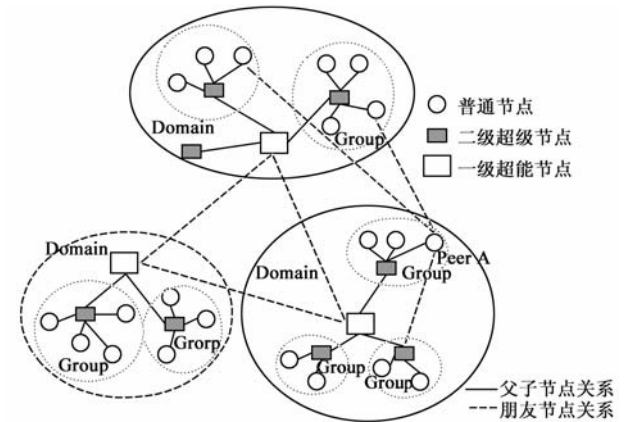


图1 SLUP模型结构

在 SLUP 覆盖网络构造过程中需要明确以下两个问题:

(1) 物理距离的估计

可以通过确定节点的二维网络坐标^[15], 以级通过泛洪或启发式搜索的方法获得节点间的物理距离. 这里并不需要精确获得节点的坐标位置, 只是把底层物理网络上邻接或相距较近的节点聚集在一起, 因此, 可以通过探测两节点间的网络时延, 即节点之间的 RTT (Round-Trip Time) 值作为节点之间距离的衡量标准.

(2) 语义相似度的计算

将能够反映资源特征的文本描述定义为资源关键字 (Resource Keywords, RK). 节点上所有共享资源的资源关键字集合便形成了该节点的节点关键字 (Node Keywords, NK). 节点之间共享资源的相近程度可以通过节点关键字 (文本集合) 之间的语义相似度表示, 有很多成熟的方法 (如向量空间模型等) 可以直接应用, 本文对此不作深入探讨. 这里目的是根据节点共享资源的语义信息, 动态地将节点聚簇成不同的组. 至于语言表达的差异问题, 可以通过预先约定一些规则避免语言表达的随意性.

节点的动态性以及超级节点的自荐机制都会带来单点失效和超级节点之间负载不均衡问题. SLUP 模型使用节点备份机制实现节点的失效恢复. 每个超级节点选择一个或两个备份节点, 备份节点拥有与该节点同步的域/组信息. 当超级节点异常离开时, 备份节点代替该节点行使管理工作. 结合备份节点机制, 超级节点可以根据自己所辖域或组的负载情况, 自主执行分裂或合并过程, 动态实现负载均衡. 因此, SLUP 具备容错和负载均衡的能力. 由于篇幅有限, 网络模型构建的详细过程, 包括节点加入和离开等可参考文献[14].

3 语义搜索算法

SLUP 模型上的资源搜索方法结合集中式和分布式搜索的优势, 依据父子关系和朋友关系同时传递查询请求: 一方面遵循树状拓扑结构, 子节点向父节点发出请求, 在超级节点管理范围内采用集中式消息管理方法. 另一方面根据查询语义与朋友节点的节点关键字的语义相似程度, 将消息以对等方式传递给朋友节点.

域内节点具有相近的物理距离, 可以最大程度减少网络延迟. 在朋友节点之间以及在一级超级节点之间形成的全分布 P2P 网络中采用语义定位方法转发消息, 可以避免泛洪方式造成的消息泛滥, 有效控制并缩减资源定位消息的传播规模, 确保在最可能发现资源的范围内转发路由信息. 语义搜索算法如算法 1 所示.

Algorithm1 Semantic-based search algorithm ()

```
{
    peer p Get QK from Query Message;
```

```
//search the local resource
if p.FindLocalResource(QK)
    return the Resource;
if Level == 3
    p forward query to its parent;
else {
    //search children Node
    for i = 0 to p.NumchildrenNode {
        if QK ∈ p.ChildNode[i].PK
            return ChildNode[i].IPaddress;
    }
    if Level == 2
        p forward query to its parent;
}
//get similar Friends
for i = 0 to p.NumFriendNode {
    if FriendNode[i].IsOnline
        Similar[i] = Similarity(p.Friend[i].PK, QK);
}
Sort Similar[] and get k-up most similar friends' IP
p forward query message to k-up friends
Return;
```

根据查询结果,发起请求的节点在发现资源后可以增加朋友节点.节点的自主访问行为会动态改变其自身的朋友列表,根据共享资源和数据访问的特征动态、自适应的调整覆盖网络的拓扑连接,随着查询的不断增多,系统资源搜索的性能也会逐渐加强.因此,语义搜索算法具有学习的能力和对查询请求的自适应性.

4 模拟实验及性能评价

为验证 SLUP 模型和语义搜索算法(SEM)的有效

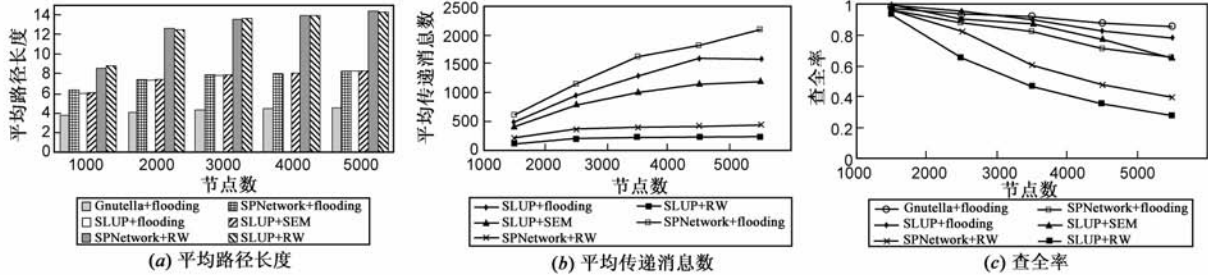


图2 搜索算法的性能比较

SLUP 模型的语义聚类特征为语义搜索算法提供了良好的拓扑支持,并且节点在查询过程中不断学习和完善自身的朋友节点信息,随着查询次数的增多,资源搜索性能会更好.图 3 显示了节点数为 2000 时,随着查询次数由 100 增加到 500,查全率逐渐变大,平均跳数

性,本文在 NeuroGrid 基础上构造了模拟程序,模拟实验选择 Gnutella 和随机产生的三层超级节点网络 SPNetwork,以级泛洪(flooding)和随机游走(RW)算法作为参照.实验采用三个指标来衡量资源搜索的性能:平均传递消息数、查全率和平均路径长度.实验参数如表 1 所示.每次查询开始在所有关键字中随机选择一个作为查询关键字,当查询关键字与资源的某个关键字完全匹配时,被认为是一次成功搜索.每次实验运行 500 次查询取平均值作为结果数据.

表 1 实验参数

节点数量	资源数量	资源关键字数量	每个资源的关键字数量	每个节点上资源数	初始 TTL	一级超级节点比例
1000 ~ 5000	3000 ~ 15000	9000 ~ 45000	3	3	12(RW 算法为 30)	6%

4.1 资源搜索的性能评价

第一组实验对比三种网络模型上三种搜索算法的性能.如图 2 所示,在 Gnutella 网络模型下使用泛洪算法的查全率最好,但平均传递消息数过大以至于无法显示在图 2(b)中,节点数是 1000 时消息数为 12072,节点数是 5000 时消息数达到了 30183.随机游走算法的平均传递消息数最小,但查全率不理想.

对比 SLUP、SPNetwork 模型中使用泛洪算法和语义搜索算法的试验结果,平均跳数和查全率相当,但 SLUP 平均传递消息数比 SPNetwork 模型减少了近 40%,说明 SLUP 中依据资源相似性进行聚类提高了资源搜索的性能.

对比 SLUP 中的语义搜索算法和泛洪算法,语义搜索算法达到了与泛洪接近的平均跳数和查全率,而平均传递消息数减少了近 20%,并且语义搜索算法的消息传递数增长平缓,说明语义搜索算法将查询传递到资源相近的节点可以减少带宽消耗.

逐渐减少,而网络负载没有明显变化.实验结果体现了 SLUP 模型的自适应特点和语义搜索算法的学习能力.

4.2 物理路径长度的模拟实验

第二组实验的目的是验证 SLUP 模型中位置感知

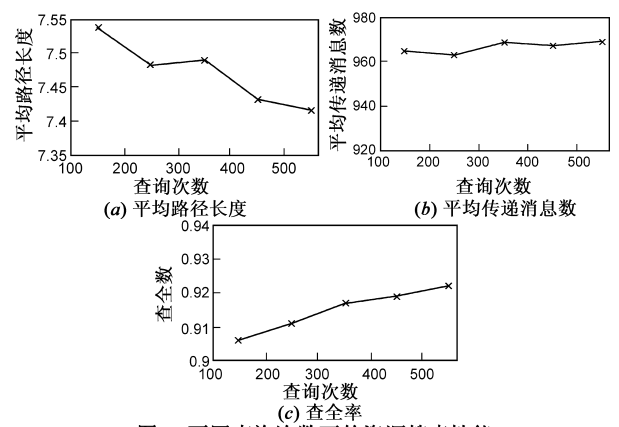


图3 不同查询次数下的资源搜索性能

特性的效果,验证了 SLUP 的拓扑结构能否显著减少网络延迟.每个节点随机分配 0~100 范围内的两个实数模拟节点的物理坐标,用欧拉距离近似节点之间的网络距离.表 2 列出了三种网络模型下每次成功搜索的平均物理路径长度.对比 SPNetwork,SLUP 中的物理路径长度缩小了 50%.主要原因是 SLUP 模型的位置感知特性减轻了物理网络与覆盖网络之间的不匹配现象,减少不必要的物理延迟.

表 2 平均物理路径长度

	1000	2000	3000	4000	5000
Gnutella	52.42	51.95	51.92	51.76	52.62
SPNetwork	4.927	4.409	3.532	3.533	3.344
SLUP	2.256	1.228	0.333	0.3162	0.2595

4.3 失效恢复机制的测试

图 4 显示了节点数目为 2000 时 SLUP 模型在不同比例的节点失效情况下资源搜索的性能.可以看到,有备份机制的查全率明显高于没有备份机制的查全率.在有备份机制的情况下,路由算法需要将消息转发给

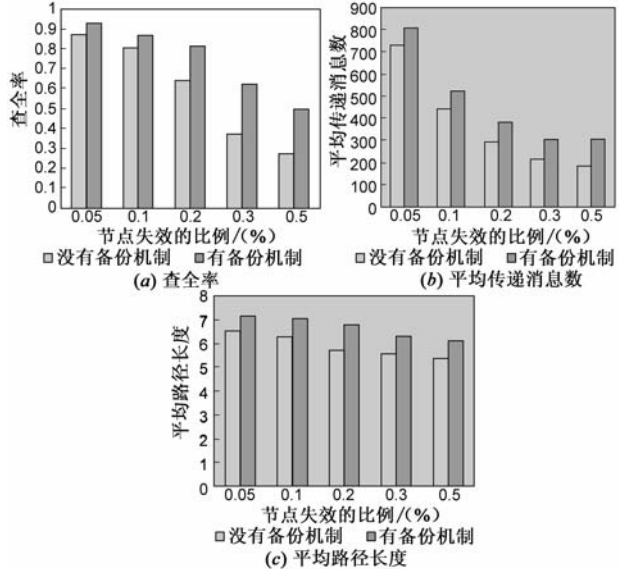


图4 不同比例的节点失效后的资源搜索性能

备份节点,因此平均路径长度和搜索开销有所提高,如图 4(a)所示.实验结果表明,备份节点的引入可以有效减轻节点失效对资源定位性能的影响.

5 结论

本文提出了一种基于位置感知和语义的非结构化 P2P 网络模型 SLUP.SLUP 一方面考虑节点的物理位置信息,减少拓扑不匹配所引起的网络负载;同时兼顾了拓扑与共享资源之间的相关性,充分利用共享资源的特征组织节点、利用节点的访问特征指导消息的路由转发.在 SLUP 模型上使用语义搜索算法在资源搜索过程中更具方向性,减少了对无关节点的查询负荷,增大了资源搜索的效率.

模拟实验的结果表明,SLUP 模型和语义搜索算法具有良好的搜索性能和较低的搜索代价.此外,模拟程序随机产生的查询请求,不能完全体现实际应用中数据访问的局部性特征,所以,在实际应用中语义聚类 and 语义搜索算法的效果会更明显.

参考文献:

[1] Rongmei Zhang, Y Charlie Hu. Assisted peer-to-peer search with partial indexing [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2007, 18(8): 1146 – 58.
[2] CHEN S P, ZHANG Z. Efficient file search in non-DHT P2P networks [J]. Computer Communications, 2008, 31(2): 304 – 317.
[3] M Ripeanu, A Iamnitchi, I Foster. Mapping the Gnutella network [J]. IEEE Internet Computing, 2002, 6(1): 50 – 57.
[4] Xiaofei Liao, Hai Jin, Yunhao Liu, Ni L M, Dafu Deng. Any-See: Peer-to-peer live streaming [A]. Proceedings of 25th IEEE INFOCOM Conference [C]. Piscataway: IEEE, 2006. 2411 – 2420.
[5] Christos Doukeridis, Norvag Kjetil, Michalis Vazirgiannis. DE-SENT: Decentralized and distributed semantic overlay generation in P2P networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007, 25(1): 25 – 34.
[6] Iamnitchi Adriana, Ripeanu Matei, Foster Ian. Small-world file-sharing communities [A]. Proceedings of IEEE INFOCOM 2004 [C]. Hongkong: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2004. 952 – 963.
[7] Hamada T, Chujo K, Chujo T, Yang X. Peer-to-peer traffic in metro networks: analysis, modeling, and policies [A]. Proceedings of the IEEE Symposium on Network Operations and Management [C]. Seoul: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2004. 425 – 438.
[8] Xu Zhichen, Tang Chunqiang, Zhang Zheng. Building topology-aware overlays using global soft-state [A]. Proceedings of the

- 23rd Int'l Conf. Distributed Computing Systems (ICDCS 2003) [C]. New York: IEEE Press, 2003. 500 – 508.
- [9] 雍兴辉, 黄永峰. P2P 流媒体系统中层次化网络拓扑推断技术的研究[J]. 电子学报, 2010, 38(1): 1 – 5.
YONG Xing-hui, HUANG Yong-feng. Network topology hierarchy inference on P2P media streaming system [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38 (1): 1-5. (in Chinese)
- [10] Yunhao Liu. A two-hop solution to solving topology mismatch [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2008, 19(11): 1591 – 1600.
- [11] Demetrios Zeinalipour-Yazti, Vana Kalogeraki, Dimitrios Gunopulos. pFusion: A P2P architecture for internet-scale content-based search and retrieval [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2007, 18(6): 804 – 817.
- [12] 薛广涛, 俞嘉地, 尤晋元. 基于临近结点聚类构建层次化 BitTorrent 文件共享系统[J]. 电子学报, 2008, 36(2): 291 – 297.
XUE Guang-tao, YU Jia-di, YOU Jin-yuan. Building hierarchical bitTorrent-like Peer-to-Peer file sharing systems based on proximity-aware peer clustering [J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(2): 291 – 297. (in Chinese)
- [13] Xin Sun, Zhao Chao, Yushu Liu. An efficient semantic-based search schema in unstructured P2P network [J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2009, 5(1): 78.
- [14] Xin Sun, Kan Li, Yushu Liu. SLUP: a semantic-based and location-aware unstructured P2P network [A]. Proceedings of the 10th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC '08) [C]. Dalian: IEEE CS society, 2008. 288 – 295.
- [15] Yuval Shavitt, Tomer Tankel. Hyperbolic embedding of internet graph for distance estimation and overlay construction [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2008, 16(1): 25 – 36.

作者简介:



孙 新 女, 1975 年 4 月出生于吉林省长春市, 北京理工大学计算机学院, 博士, 讲师. 主要研究方向为: 对等网络、网格计算和分布式系统. E-mail: sunxin@bit.edu.cn



刘玉树 男, 1941 年 11 月出生于山东省. 北京理工大学计算机学院教授, 博士生导师, 主要研究方向为: 人工智能与智能系统. E-mail: liuyushu@bit.edu.cn