

一种基于索引 P2P 分层的网格资源发现模型

朱凌^{1,2},黄德才¹,郑月锋¹

ZHU Ling^{1,2},HUANG De-cai¹,ZHENG Yue-feng¹

1.浙江工业大学 信息学院,杭州 310032

2.浙江体育职业技术学院,杭州 311231

1.College of Information Engineering,Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China

2.Zhejiang College of Sports, Hangzhou 311231, China

E-mail: zhuling188@msn.com

ZHU Ling, HUANG De-cai, ZHENG Yue-feng. Grid resource discovery model based on index P2P layered topology. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(2): 96-98.

Abstract: Grid resource discovery is an importance part of the grid research. New ideas are introduced to grid with the development of P2P system. This paper proposes a new resource discovery model based on index P2P layered topology. This model introduces an index P2P layered topology which can alleviate the deficiency of centralized and non-structured P2P resource discovery mechanism in grid environment. Performance of the model in highly dynamic environment is analyzed and tested. It shows that the searching, routing, indexing and query transmitting ability of the model are greatly improved.

Key words: grid; grid resource discovery; peer-to-peer(P2P)

摘要: 网格资源发现是网格研究中的重要组成部分,随着 P2P 网络的兴起,许多新的概念和研究方向为网格研究提供了思路。针对网格环境下集中式和无结构 P2P 资源发现机制的缺陷,提出了一种基于索引 P2P 分层的网格资源发现模型,引入了索引 P2P 分层网络,充分利用了网格环境中节点性能的差异,具有较好的资源查找发现功能,并且对大规模的网格具有较好的适应性。

关键词: 网格; 网格资源发现; 点对点技术(P2P)

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2010.02.030 **文章编号:** 1002-8331(2010)02-0096-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP393

网格技术的目的是聚集动态多组织的分布资源,为用户供资源共享和协同问题解决的环境^[1]。随着互联网技术的迅速发展和应用,网格技术已成为近年来分布式计算领域中的一个研究热点。网格能使用户共享和访问广域网中多种类型的大量资源,并且具有动态性、异构性、自治性等特点。在网格环境中如何快速有效地进行资源定位,同时降低网络带宽消耗,保证系统的可扩展性和容错性,是一个关键问题。

传统的资源发现服务,如文献[2]采用集中方式,当资源或用户大量增加时中心匹配器会成为性能瓶颈。而 Globus Toolkit 的 MDS-2^[3]采用层次方式,资源代理的树型连接拓扑是固定不变的,所以,越是上层节点保存的资源信息就越多,处理负担就越重,而造成各节点负载的不均匀,而且树根也会成为性能瓶颈,存在单点崩溃问题。P2P 网络是建立在 Internet 上的覆盖(overlay)网。P2P 网络改变了传统客户机/服务器模式集中存储和处理资源的方法,将网络边界上的资源有效地组织起来。基于 P2P 网络与网格的相似性以及 P2P 网络的各种优点,将 P2P 技术有机地应用于网格资源发现已经成为了一种技术趋势^[3]。

针对实际网格节点,在对 P2P 技术现有模型进行分析优化

的基础上将索引 P2P 分层结构引入到网格资源发现中,提出了基于索引 P2P 分层的网格资源发现模型,从而较好地适应了网格资源的动态变化并得到了较好的资源匹配和查找效果。

1 索引 P2P 分层网络

P2P 网络可分为无结构 P2P 网络和有结构 P2P 网络^[4]。无结构 P2P 网络是基于泛洪搜索,搜索较慢而且消耗大量的资源,扩展性较差,但无结构网络具有网络组织简单、能够适应高度动态性的特点^[5]。基于分布式哈希表(DHTs)的结构化 P2P 网络搜索速度快,产生的查询消息少,资源消耗少,但有结构网络中的节点在加入和离开网络时需要进行修复操作,由此会产生大量的消息^[4,6]。为了结合无结构和有结构网络的优点,文献[7]提出了一种含有结构化超级节点(Super Peer, SP)的 P2P 网络,超级节点维护两张表,表 1 记录它管辖的普通节点,表 2 记录其他所有的超级节点信息。当查询资源时,普通节点将查询节点的信息交给它的超级节点 SP₀,然后 SP₀ 通过查找表 2,找出该资源所在的超级节点 SP₁, SP₁ 查找其维护的表 1,得出资源所在的普通节点。通过对现有网格的观察,已经发现各个节点存

基金项目: 浙江省自然科学基金(the Natural Science Foundation of Zhejiang Province of China under Grant No.Y107596)。

作者简介: 朱凌(1983-),男,硕士研究生,助教,主要研究方向为网格技术和分布式计算;黄德才(1958-),男,工学博士,教授,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究方向为网格调度、人工智能、图像处理、数据挖掘。

收稿日期: 2008-07-24 **修回日期:** 2008-10-29

在一定的差异性,有些节点在线时间较长,有较大的存储能力和带宽资源,这种节点的差异性表明可以根据需要将节点赋予不同的角色。现有的许多研究,如文献[8]等也证明了超级节点在网络资源发现模型构架的可行性。但文献[8]所提出的模型中,节点的加入和离开而需要很多的修复操作,在实际应用中仍需改进。故引进了索引节点的概念。

索引 P2P 网络在控制层面上采用两层体系,上层是索引节点(Index Super Peer, ISPeer)组成的有结构 P2P 网络,即索引网络;下层是由普通节点(Resource Peer, ResPeer)组成的 P2P 网络。索引网络本身是个有结构的 P2P 网络,为下层提供索引服务,上层索引网络可以是基于 CAN、Chord、Pastry 等网络结构。索引节点的加入和离开都会影响上层网络结构,需要对上层网络作适当的修复操作。索引节点的变动将增加网络的开销,影响查询的效率,故在索引节点的选择上,依循以下标准:(1)节点的处理能力强,包括 CPU 处理能力,网络带宽和存储能力;(2)节点在线时间长,可以提供长期有效的服务;(3)节点的负载不是很重,并且负载情况比较稳定。下层网络为无结构 P2P 网络,每个普通节点只能与一个索引节点建立邻居关系,每个普通节点存储着该索引节点的位置信息。由于是基于无结构的 P2P 网络,故普通节点可以任意地加入和离开,不需要修复操作,从而能够更好地适应网络的动态性。

2 资源发现模型

结合第 1 章的描述以及网格资源发现的特点,基于类聚的索引 P2P 分层网格资源发现模型具体描述如下:模型体系将整个网格在逻辑上分成两个层次,底层为各种类型的资源于服务或是请求。按照网格中资源与服务的类别,将整个网络划分成若干个虚拟组织⁽¹⁾(Virtual Organization, VO),虚拟组织构成下层的无结构 P2P 网络。每个虚拟组织根据第 1 章所表述的标准选取一个索引节点,所以索引节点相对普通节点具有较好的稳定性,所有索引节点构成上层的索引网络,整个资源发现模型如图 1 所示。类似于文献[8]所提的超级节点,索引节点也负责维护所在的下层虚拟组织。参考文献[7]所提出的理论,索引节点也维护两张索引哈希表。表 1 维护了索引网络的各索引节点信息,对上层索引网络提供相应的资源查询和定位操作。表 2 维护了索引节点所在虚拟组织内部资源节点的信息索引,包括所提供资源的详细信息和资源位置。虚拟组织内部各资源节点与索引节点形成邻居关系,每个虚拟组织内部构成一个无结构的 P2P 网络。在实际网格中,考虑到网格中可能存在大量同一类别的资源节点,网格中允许存在多个同一资源类别的虚拟组织。考虑到索引节点的维护能力,在实际操作中预先设定一个虚拟组织最大节点上限数(MaxPeerNum),虚拟组织内资源节点数(PeerNum)保存在相应的索引节点中。当已有虚拟组织节点数达到上限时,剩余节点类聚成另一个虚拟组织,设置合适的 MaxPeerNum 可以有效地提高资源的查找效率。

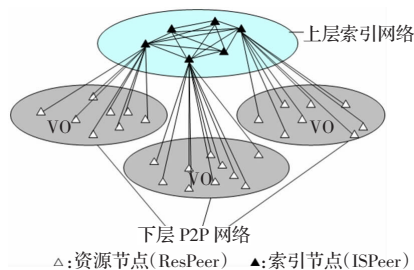


图 1 基于索引 P2P 分层的网格资源发现模型

由于索引网络是结构化 P2P 网络,所以索引网络具有快速定位资源节点的特点。其次不同于混合式无结构 P2P 网络,索引节点并不直接索引与之相邻的资源节点,而是通过分布式哈希表索引与之相关的资源节点,从而降低了信息的维护量,减少了网络带宽的损耗。

3 算法描述

提出的网格资源发现模型主要涉及的算法有:资源发布,索引节点的选择,资源查找以及资源取消。由于索引节点的选择已在第 1 章做出了详细的叙述,故本章主要对资源发布,资源查找以及资源取消 3 个算法进行描述。

3.1 资源发布

模型分为上下两层,上层索引网络是使用 DHTs 的有结构网络,下层为普通资源节点。如第 2 章所述,所有节点都有一个 key, key 表示该资源节点的资源类型。假设资源节点 ResPeer_i 要在网格中发布资源类型为 key_i 的资源,则 ResPeer_i 应与资源类型为 key_i 的一个索引节点 ISPeer_m 建立邻居关系,ISPeer_m 在索引数据库中添加 ResPeer_i 的索引信息,ResPeer_i 划归为 ISPeer_m 所在 VO_m,过程如下:

- (1) ResPeer_i 将发布信息交给其邻居节点 ResPeer_j;
- (2) ResPeer_j 将 ResPeer_i 信息交给其所在 VO_n 中的 ISPeer_n;
- (3) ISPeer_n 通过索引网络,根据 key_i 查询索引信息库,得到索引节点记录集 ISPPool_i。

(4) ISPeer_n 在 ISPPool_i 中查找满足 PeerNum_m < MaxPeerNum 的 ISPeer_m;

(5) ResPeer_i 与 ISPeer_m 建立邻居关系并归属于 ISPeer_m 所在的下层网络 VO_m, PeerNum_m = PeerNum_m + 1, ISPeer_m 在其索引信息库中添加 ResPeer_i 索引信息,完成资源发布。

3.2 资源查找

对于资源的查找,资源发现模型构建的合理与否对资源查找的效果有着决定性的影响,但查找条件的描述统一与否对查找效果也存在着一定的影响。按照所查找资源的关联性,可将资源查找分为两类。两类查找可以在算法设计上统一。资源节点物理关联性不做要求,则将每个资源查找单独视为物理关联性的资源查找即可。为了更好地提高对资源查找的查准率和查全率,对资源查找进行了规范化描述。其 BNF 语法表示如下:

```

<Request> ::= <Requirement>; <Rank>
<Requirement> ::= <requirementExp>
<Rank> ::= <arithmeticExp>
<requirementExp> ::= <booleanExp> <arithmeticExp>
<booleanExp> ::= <booleanExp> <booleanOperator> <booleanExp> | <booleanExp> <atomicBooleanExp>
<atomicBooleanExp> ::= <attributeName> <relationOperator> <value>
<booleanOperator> ::= 'AND' | 'OR' | 'NOT'
<relationalOperator> ::= '>' | '<' | '=' | '<' | '>' | '!' | '!'
<arithmeticExp> ::= <arithmeticExp> <arithmeticOperator> <arithmeticExp> | (<arithmeticExp>) | <booleanExp> <booleanOperator> <arithmeticExp> | <arithmeticExp> <booleanOperator> <booleanExp> | <attributeName> <value>
<arithmeticOperator> ::= '+' | '-' | '*' | '/'
<attributeName> ::= <string>
<value> ::= <integer> | <real> | <boolean> | <string>

```

例如,要求查找满足 CPU 主频大于 2.0 GHz,空闲率大于等于 0.3 并且内存大于等于 512M,空闲率大于等于 0.5,即内存空

闲大于等于 256M 的资源节点则可表示如下:

```
ReqRes{
  Requirement=((cpu-speed≥2.0GHz)AND(cpu-idle≥0.3))AND
  (((memory-size≥512M)AND(memory-idle≥0.5))OR
  (memory-size*memory-idle≥256M))
}
```

假设网络上节点 NodePeer_i 需要查找同时具备资源为 key_a 条件为 rank_a 和 key_b 条件为 rank_b 的节点 NodePeer_j。其查找过程可简叙如下:

- (1)NodePeer_i 通过全覆盖网络将查找请求发送给对应的一个 ResPeer_i;
- (2)ResPeer_i 将查找信息传递给所在 VO 的 ISPeer_i;
- (3)ISPeer_i 通过索引网络,根据 key_a 查询索引信息库,得到索引节点记录集 ISPPool_i;
- (4)ISPPool_i 内各 ISPeer 分别查找所在 VO 内满足 rank_a 的 ResPeer_{ja};
- (5)若 ResPeer_{ja} 相关的 ResPeer_{jb} 满足 rank_b, 则返回 ResPeer_j 所对应的 NodePeer_j 信息, 停止查找;
- (6)若没有找到符合条件的资源或者查询超时则返回空值, 停止查找。

3.3 资源取消

资源取消分为资源节点自主取消和资源节点由于网络故障等各种异常原因而被动取消两种情况。对于自主取消,算法描述较为简单,当 ResPeer_i 要取消所发布的资源 key_i, 只需将信息提交给所在 VO_i 的 ISPeer_i, ISPeer_i 在其索引数据库中删除 ResPeer_i 的索引信息即可。其过程如下:

- (1)ResPeer_i 将删除信息 Delete(ResPeer_i) 发给邻居节点 ISPeer_i;
- (2)ISPeer_i 在其索引数据库中删除 ResPeer_i 的索引信息, 完成资源取消。

为了解决由于异常原因而引起的资源节点失效问题,在系统中设置了一个 TTL(Time To Live),用于节点的动态更新。VO 中的 ISPeer 根据系统设置的时间间隔对 VO 中的所有 ResPeer 进行主动查询,如果 ResPeer 在 TTL 内返回查询信息,则说明该 ResPeer 资源有效,否则说明该 ResPeer 已经失效,在 ISPeer 索引数据库中删除该 ResPeer 的索引信息,完成索引数据库的信息更新和资源取消。其过程如下:

- (1)ISPeer 对 VO 中所有资源节点(ResPeer₁, ResPeer₂, ..., ResPeer_n)进行信息查询;
- (2)ResPeer_i 收到信息后发送反馈信息给 ISPeer_i;
- (3)ISPeer 在 TTL 内对收到反馈信息的 ResPeer_i 进行保留;
- (4)删除未返回反馈信息的 ResPeer_i, 初始查询时间准备下一轮查询,完成资源取消。

4 模型性能分析

主要采用了索引 P2P 分层网络实现了对网格资源的发现查找。在索引 P2P 分层网络中,查询性能的高低与查询路径的长度 h 成反比, h 值越低,查询效率越高。而在一般的混合无结构网络中,查询性能的高低与节点发送的消息个数 S 成反比, S 值越低,查询效率越高^[10]。

在混合无结构网络中,假设上次网路使用泛洪查找算法,单个节点发送一个 Ping 指令或 Query 消息,产生的消息个数为:

$$S = \frac{1}{M} S = \frac{1}{M} n_c \times \frac{(n_c - 1)^h - 1}{n_c - 2} \quad (1)$$

其中, S 为最坏情况下产生的消息数, n_c 为单个节点的邻近节点连接数, h 为 Ping 指令或 Query 消息的路径跳数, M 为该网络的改进系数,文献[11]中取值为 10。

索引 P2P 分层网络的上层网络比较稳定,假设网络中 ISPeer 的节点数为 m , ResPeer 为 n , 则其服务平均负载系数 $\alpha = n/m$, 上层网络中,查询经过的跳数为:

$$h = \log(m) \quad (2)$$

为了对混合无结构网络和索引 P2P 分层网络性能进行比较,设置指标如下:

- (1)混合无结构网络节点数为 100 000 个;索引 P2P 分层网络中 ISPeer 为 1 000 个, ResPeer 为 100 000;每个普通节点下负载信息资料约为 1K。
- (2)节点邻接数为 3。
- (3)每个节点提交查询频率为 $q = 1/60$ 。

(4)混合无结构网络中对节点数 $n = 2^h$ 规模的节点构成覆盖网络,从任何节点发送的请求可以在 $h/2$ 的范围内转发到所有节点,计算得 $h = 8$;索引 P2P 分层网络中,上层网络 $h = \log(m) = 5$ 。

由公式(1)和(2)可求得混合无结构网络中 S 为 76.5,索引 P2P 分层网络中 h 为 5; $S \gg h$, 所以索引 P2P 分层网络的查询代价要小的多;而索引 P2P 分层网络所要维护的索引数据库大小约为 1 MB,这也是可以接受的。由图 2 可以看出,当 $x = 5$ 时,索引 P2P 分层网络查询代价还是趋于平稳的,而混合无结构网络代价则已急剧增加,故,索引 P2P 分层网络适合应用于网格资源发现。图 3 是在基于索引 P2P 分层的网格资源发现模型下对返回值非空查询延迟的分析,从平均延迟看,当节点数增加到 5 000 个时,查询延迟仍然控制在 2 s 内,并且延迟增长速度相对稳定。由此可以得出所提出的基于索引 P2P 分层的网格资源发现模型能较好的适合网格资源发现。

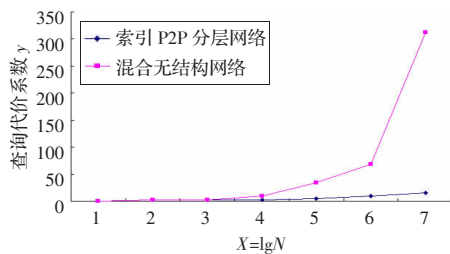


图2 索引 P2P 分层网络与混合无结构网络查询代价比较

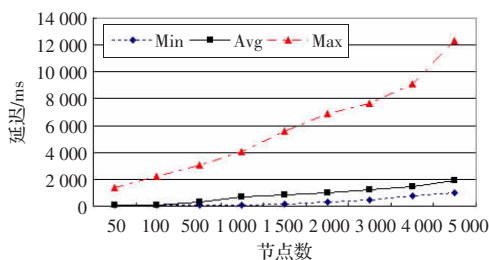


图3 查询响应时间

5 总结及展望

网格资源发现机制的可用性,取决于其是否合适网格系统

(下转 205 页)