

C-Chord: 一种改进的 Chord 路由算法

祝华平, 李蜀瑜

(陕西师范大学 计算机科学学院, 陕西 西安 710062)

摘要: Chord 是一种典型的资源查找路由协议, 具有负载均衡、可扩展性和灵活性等特点, 广泛应用于 P2P 系统, 但查找效率并不高。为了提高查找效率, 提出了一种改进的多层次 C-Chord 路由算法, 通过多层的集群结构组织, 先优化路由表, 然后改进资源查询过程, 最后结合有效的维护机制, 使查询效率得以提高。仿真实验表明, 这种改进的 Chord 路由算法查询效率明显高于传统的 Chord 算法。而且 C-Chord 路由算法可以把传统的 P2P 系统扩展成适应大规模的分分布式系统, 网络的稳定性和健壮性更好。

关键词: Chord; C-Chord; 路由表

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2013)12-0047-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2013.12.011

C-Chord: An Improved Chord Routing Algorithm

ZHU Hua-ping, LI Shu-yu

(School of Computer Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: Chord is a typical resource lookup routing protocol with load balancing, scalability and flexibility, widely used in P2P systems, but search efficiency is not good. To improve search efficiency, an improved multi-level C-Chord routing algorithm is proposed, through the multilayer cluster structure organization, optimize the routing table, and then improve resource query process, finally combined with an effective safeguard mechanism, the query efficiency can be improved. Simulation results show that this improved Chord routing algorithm is significantly more efficient than traditional Chord algorithm. And C-Chord routing algorithm can be extended to the traditional P2P systems to adapt to the large-scale distributed systems, with better stability and robustness of the network.

Key words: Chord; C-Chord; routing table

0 引言

目前, 对 P2P 搜索技术的研究成为了热点。P2P 系统从体系结构上分为非结构化 P2P 和结构化 P2P^[1]。在结构化 P2P 系统中, DHT(分布式哈希表) 是一种高效的资源搜索机制, 基于 DHT 的几种主流路由协议有 Chord^[2]、CAN^[3]、Pastry^[4]、Tapestry^[5], 其中 Chord 的应用最为广泛。Chord 具有负载均衡、可扩展性和灵活性等特点, 但仍然存在不足, 比如 Chord 路由表存在大量的信息冗余、没有考虑节点的异构性、覆盖网与实际物理网络不一致产生的路由绕路问题。

Chord 也是一种结构化覆盖技术^[6], 网络中的每个节点只记录部分其他节点的信息, 保证消息路由在一定的跳数内完成。当网络规模增大时, 节点的频繁加入和离开会引起网络的扰动, 导致路由表出错或查

询失败等问题。分布式网络是一种大规模覆盖网, 分布式网络系统对大规模网络具有很好的适应性、可伸缩性、可靠性^[7-9]。如何组织节点和设计相应的路由策略, 使得 Chord 能适应大规模分布式系统。

1 Chord 路由

Chord 采用一致性哈希函数给每个节点和关键字分配 m 位的标识符, 每个节点维护一张路由表(finger table), 且路由表有 m 个表项。通过将标识符对 2^m 取模后顺序排列, 节点和关键字标识符都被映射到了一个大小为 2^m 的环上, 该环被称为 Chord 环。关键字标识符为 k 的数据对象被分配给 Chord 环上节点标识符为 k 的节点; 如果 k 节点不存在, 则将关键字标识符 k 分配给 Chord 环上节点标识符按顺时针方向紧随其后

的节点。存储关键字 k 的节点称为关键字 k 的后继节点,表示为 $\text{successor}(k)$ 。如图 1 所示, N_1 、 N_8 、 N_{14} 等是节点标识符, K_{10} 、 K_{24} 、 K_{30} 等是关键字标识符。按照 Chord 协议思想, K_{10} 应分配给 N_{10} ,但由于 N_{10} 不存在,故将其分配给顺时针方向紧随 N_{10} 的 N_{14} ,其他同理。

Chord 的路由查询如下:如节点 N_8 要查找关键字 K_{30} ,由于节点 N_8 最大的后继节点为 N_{42} ,所以节点 N_8 向节点 N_{42} 发送查询请求,节点 N_{42} 检查自己的路由表,关键字 K_{30} 没有存储在本地,并发现 K_{30} 应该存储在节点 N_{51} ,然后将请求发送给 N_{51} ,节点 N_{51} 检查自己资源,若关键字 K_{30} 存储在本地图则返回查询结果,否则查询失败。

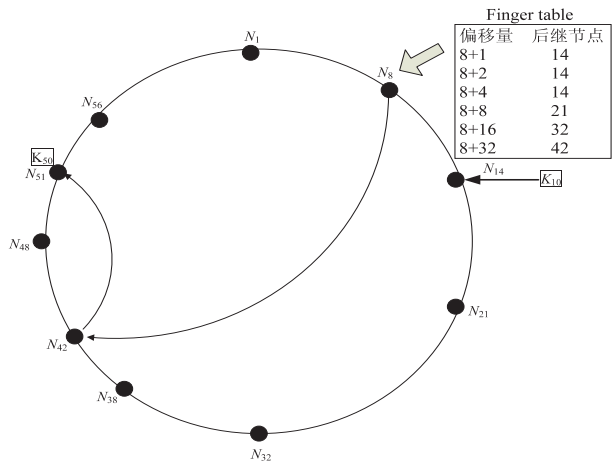


图 1 Chord 查询示例

2 C-Chord 算法

C-Chord(Cluster Chord)是 Chord 的一种扩展,由于网络节点的异构性,为了充分利用各个节点的不同能力,文中引入了多层次集群网络思想,这样还可以把部分操作只在本集群内执行,减少了整个网络的通信负担,并通过修改路由表和资源路由查询过程来提高查询效率,同时由于网络的动荡性节点可以自由地加入和离开,引入了节点的维护更新机制,更好地维护网络的稳定性,以适应大规模分布式系统。

2.1 节点组织结构

由于各个节点的性能不同,目前主要的节点组织结构是基于分层进行的。文献[10]将 Chord 环平均分成 m 个 1 级分区,每个分区产生一个 leader。如果 1 级分区内节点大于 $m-1$ 个,则将其平均分成 $m-1$ 个 2 级分区,以此类推, i 级分区中节点个数不大于 $m-1$ 个为止。文献[11]将 Chord 环平均分成 $2^p(0 \leq p \leq m)$ 个区域,每个区域产生域间转发节点,构成域间转发网,使节点查询不在同一半环内的目标节点有可能只需一跳完成。文献[12]利用拓扑感知原理将超级节点附近延迟小的节点划分为一个群组,并建立了邻居

节点列表。文献[13]中的模型是由内外两层 Chord 环组成的,内 Chord 环将各节点分组,组内节点自治,各组超级节点组成外 Chord 环完成组间路由。

文中构建的是一个多层次的树形结构网络,如图 2 所示,顶层为超级集群,其他各层由不同的集群组成。每个集群构成一个 Chord 环,集群内的超级节点负责与上下层集群进行通讯。每个节点都有一个唯一的地址,保存在长度为 m 位的标识符空间内,因此集群拥有的最大节点数为 2^m ,集群拥有的子集群数由分支系数决定。集群的划分是根据节点响应快慢决定的,例如节点要加入网络中,节点向周围的几个集群发送加入集群的请求,收到同意加入集群的响应越快说明物理距离越近,因此加入响应时间短的集群,保证了同一集群内节点的物理距离相对较近。这样分层使各个节点充分发挥作用,性能差的节点放在底层,性能好的节点放在上层,并且把部分操作放在集群内进行,减少了系统开销,一定程度上消除了由于节点性能产生的瓶颈。

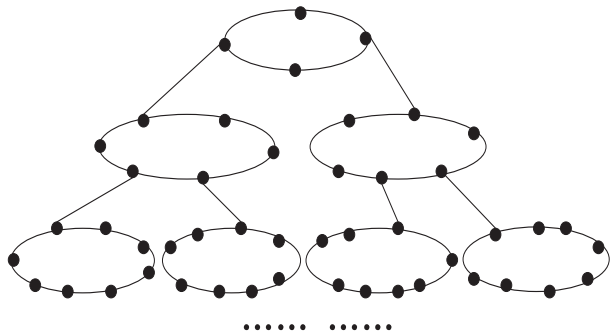


图 2 C-Chord 网络结构示意图

2.2 路由表设计

Chord 构造的是一个单向路由表^[14],通常只能覆盖半个多环的信息,且离节点近的信息更密集,另外的需要跳转来完成。为了减少资源查询的跳数,文中添加了反向路由信息,以构造双向查找路由表。反向信息添加的方法跟正向路由基本一致,第 k 项记录标识符为 $(x - 2^{k-1}) \bmod 2^m$ 的节点,如表 1 所示。这样添加路由信息虽然消耗了系统资源,但是减少了查询跳数,提高了查询效率。

表 1 反向路由表

偏移量	前继节点
8-1	1
8-2	1
8-4	1
8-8	56
8-16	56
8-32	38

由于每个集群都是一个 Chord 实例,Chord 逻辑环并没有排满整个环,因此出现路由表冗余现象^[15],如

图 1 节点 N_s 路由表。在不影响查询效率的情况下,文中考虑把这部分冗余的表项删除,即把 N_s 节点的重复表项合并成一项,以减少系统的维护消耗,如表 2 所示。

表 2 节点 N_s 路由表	
偏移量	节点
8+4	14
8+8	21
8+16	32
8+32	42
8-4	1
8-16	56
8-32	38

在添加了反向路由信息之后,每个节点维护的路由信息大于 m 项,所以要淘汰多出的项,以维持系统负载均衡。节点向路由表中的各个节点发送信息,把响应时间慢的一些节点信息删除,使得每个节点可以按自己的能力来维护多少项路由信息,为了保证查询成功率,节点至少维护 m 项路由信息。这样删除了冗余的信息,又添加了反向路由信息,查找效率得到提高。

2.3 路由查询过程

Chord 进行资源查询时,查询节点向一个节点发起查询,需要等待其响应后才能进行下一跳的查询,直到查询结束。如果查询过程中,某一节点的延迟比较高,整个查询过程将等待很长时间。因此文中将查询过程改进为查询节点同时向两个节点发送查询信息,即查询节点向离关键字最近和次近的节点发起查询。查询步骤如下:

- 1) 对查询关键字进行哈希,得到 key;
- 2) 比较 key 是否在本机,如果是直接查找,否则转 3);
- 3) 在本机的路由表中找到离 key 最近的和次近的节点;
- 4) 将查询消息发送给该两个节点,重复上述步骤,直到收到查询结果,另一节点查询停止,整个查询结束。

```
相应的伪代码:
Look_up(key) //查询开始
While not finished //查询没有结束
Findmyfingertable(key) //查询 key 是否在本机
Selectnexthop()//选择下一跳
Return result //返回查找结果
End while //查询结束
```

按照上述过程进行资源查询,虽然增加了部分网络带宽的开销,但避免了由于查询路径中单点延迟太大影响整个查询过程,有效地提高了查询效率。

2.4 节点的维护与更新

由于网络的动态性,节点可能随时加入或退出 Chord 环,所以节点信息的维护与查询成功率有着密切的关系。文中采取的策略是当上层网络中节点离开时,从下层网络中选举节点补上,以保证上层 Chord 环保留一个完整的地址空间,这样可以减少全局节点地址宽度。节点加入时,直接加入到最底层网络中,如果节点的性能突出,可以通过选举策略晋升到上层网络中,取代现有的超级节点地位。这样既充分利用了节点的硬件资源,又缓解了单点失效的瓶颈。

文中采用了主动维护和定期更新的策略。在网络扰动率较小的情况下,采用主动维护,即有节点加入或退出时,通知其相关后继节点以及时地更新路由信息。但是随着网络扰动率的增加,维护的频率也会随之上升,这样使得维护的开销非常大。因此当网络扰动率超过阈值时启动定期更新策略,即在一定的周期内对网络中的节点信息进行维护,有效地避免了在拥塞的网络上进一步增加开销的问题,维护的开销比主动维护要小。

3 仿真实验与分析

文中采用模拟实验的方式对 C-Chord 路由算法的性能与标准 Chord 进行了对比。在 Windows+Eclipse+PeerSim 平台上,主要对资源查询的跳数进行了仿真。实验假设地址带宽 $m=32$,分别选取了节点数为 1 000、2 000、3 000、4 000、5 000、6 000、7 000、8 000、9 000、10 000 个的网络进行模拟。在同一规模的网络中,随机选取关键字进行查询,重复一百次,得到查询的平均跳数,如图 3 所示。

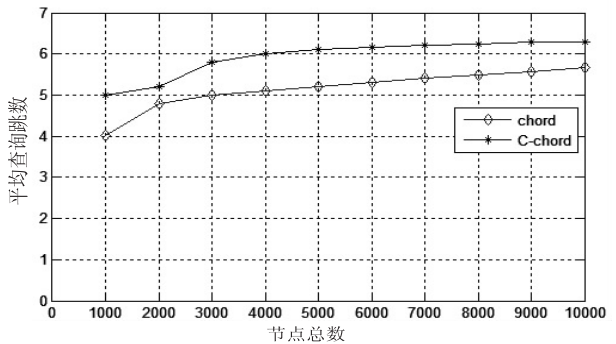


图 3 仿真实验结果

从上图可以看出,C-Chord 路由算法查找资源所用的跳数明显比 Chord 少,并且网络中节点数目越多效果越明显。仿真实验表明,C-Chord 算法的查找效率比 Chord 有所提升,与预期结果一致。

4 结束语

文中提出了一种改进的 Chord 路由算法,通过对

节点进行分层管理,使得网络规模可以层次式扩展。优化路由表,删除冗余信息并增加了反向路由表,同时淘汰部分连接响应慢的节点,改进资源查询过程,提升了查询效率。采用了主动维护和定期更新策略对扰动的网络进行维护,使得在不影响查询效率的同时尽量减少维护的开销。

仿真实验表明,C-Chord 路由算法减少了查询跳数,优化了查询效率。在今后的研究中集群的分裂与合并加以考虑,以减少系统的维护开销。

参考文献:

- [1] 王丽莉,孙 波,肖永康,等. 结构化 P2P 资源搜索算法研究综述[J]. 计算机应用研究,2009,26(10):3621-3624.
- [2] Stoica I, Morris R, Karger D, et al. Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for Internet applications [C]//Proc of ACM SIGCOMM 2001. New York, USA: ACM Press, 2001: 149-160.
- [3] Ratnasamy S, Francis P, Handley M, et al. A scalable content addressable network [C]//Proc of ACM SIGCOMM 2001. New York, USA: ACM Press, 2001: 161-172.
- [4] Druschel P, Rowstron A. Pastry: Scalable, distributed object location and routing for large-scale peer-to-peer system [C]//Proc of the middleware 2001. Heidelberg: Springer-Verlag, 2001: 329-350.
- [5] Zhao B, Kubiawicz J, Joseph A. Tapestry: An infrastructure for fault-tolerant wide-area location and routing [R]. Berkeley: University of California, 2001.

(上接第 46 页)

结果显示,层次定制方式比一般定制方式更节省存储空间和定制时间,且租户数目越多,优势越明显。

4 结束语

文中提出了一个 SaaS 层次定制模型,通过实例详细阐述和分析了层次定制策略,并通过数学分析验证了该模型的有效性,通过仿真实验验证该模型定制效率的提高,并且在一定程度上节省了空间。

参考文献:

- [1] Wu Shengqi. Schema evolution via multi-version metadata in SaaS [C]//Proc of international workshop on information and electronics engineering. [s. l.]: [s. n.], 2012: 1107-1112.
- [2] Kim W, Lee J H, Hong C, et al. An innovative method for data and software integration in SaaS [J]. Computers and mathematics with applications, 2012, 64: 1252-1258.
- [3] Li Liang, Mao Jiye. The effect of CRM use on internal sales management control: an alternative mechanism to realize CRM benefits [J]. Information & management, 2012, 49(6): 269-

- [6] 李 伟,葛洪伟. ECP: 一种改进的 Chord 协议[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(34): 103-106.
- [7] Peng Zhuo, Duan Zhenhua, Qi Jianjun. HP2P: A hybrid hierarchical P2P network [C]//Proceedings of the IEEE international conference on the digital society. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2007.
- [8] Garcés-Erice L, Biersack E W, Felber P A. Hierarchical peer-to-peer systems [J]. Lecture notes in computer science, 2003, 2790/2003: 1230-1239.
- [9] Lin Jenn-Wei, Jen Fu, Yang Mingfeng. Reliable hierarchical peer-to-peer file sharing systems [C]//Proc of 2006 IEEE region 10 conference. Hong Kong: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2006: 1-4.
- [10] 王必晴, 贺 鹏. H-Chord: 基于层次划分的 Chord 路由模型及算法实现[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(36): 141-143.
- [11] 王必晴, 钟志水, 孟伟东, 等. S-Chord: 一种层次式 Chord 路由模型[J]. 计算机工程, 2011, 37(1): 96-97.
- [12] 曾晓云. 基于 Chord 协议的混合 P2P 模型[J]. 计算机工程, 2010, 36(7): 112-113.
- [13] 李建华, 李桂林, 陈松乔, 等. 一种 Chord 的分层资源定位模型[J]. 小型微型计算机系统, 2009, 30(1): 83-86.
- [14] 王德永, 王晓光, 齐应杰, 等. OHChord: 基于优化路由表和路由热点的 Chord 改进[J]. 计算机与现代化, 2011(9): 57-60.
- [15] 陈 刚, 吴国新, 杨 望. G-Chord: 一种基于 Chord 的路由改进算法[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2007, 37(1): 9-12.

- [16] 熊 伟, 李 兵, 何 鹏, 等. 一种创新的 SaaS 服务的构建模型[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(9): 141-144.
- [17] 史玉良, 栾 帅, 李庆忠, 等. 基于 TLA 的 SaaS 业务流程定制及验证机制研究[J]. 计算机学报, 2010, 33(11): 2055-2067.
- [18] 郑旭旭. 面向 SaaS 应用的租户多级定制模型[D]. 济南: 山东大学, 2011.
- [19] 张一川, 张 斌, 刘 莹. 支持多租约个性化业务定制的 SaaS 业务-租约模型[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2012, 33(5): 636-640.
- [20] 陈 伟, 沈备军, 戚正伟. 面向 SaaS 应用的业务逻辑定制框架的研究与实现[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(1): 155-158.
- [21] 陈 伟. 面向 SaaS 应用的软件定制技术研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2011.
- [22] 李凯丰, 温浩宇, 杨朝君. 多租户业务逻辑可定制模型研究[J]. 情报杂志, 2010, 29(6): 166-168.
- [23] 关增产, 吴清烈. 大规模定制模式下的客户需求聚类分析与定制优化[J]. 统计与决策, 2009(1): 181-183.
- [24] 操云甫, 赵俊文, 韩永生, 等. 面向大规模定制的软件开发模式[J]. 计算机研究与发展, 2002, 39(5): 593-598.

C-Chord: 一种改进的Chord路由算法

作者：[祝华平](#)，[李蜀瑜](#)，[ZHU Hua-ping](#)，[LI Shu-yu](#)
作者单位：[陕西师范大学 计算机科学学院](#)，[陕西 西安](#)，[710062](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2013(12)

本文链接：http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201312011.aspx