

一种基于层次化兴趣的非结构化 P2P 拓扑形成模型*

周晓波⁺, 周 健, 卢汉成, 洪佩琳

(中国科学技术大学 电子工程与信息科学系, 安徽 合肥 230027)

A Layered Interest Based Topology Organizing Model for Unstructured P2P

ZHOU Xiao-Bo⁺, ZHOU Jian, LU Han-Cheng, HONG Pei-Lin

(Department of Electronics Engineering and Information Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-551-3603634 ext 110, E-mail: kzkzhou@mail.ustc.edu.cn

Zhou XB, Zhou J, Lu HC, Hong PL. A layered interest based topology organizing model for unstructured P2P. *Journal of Software*, 2007,18(12):3131–3138. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/18/3131.htm>

Abstract: There are two pivotal problems in unstructured P2P system: Topology self-organization and query algorithms, however, the former is more important because a well-organized topology can dramatically improve the performance of query algorithms. This paper develops a new mechanism to organize topology based on a hierarchical representation of interest—SACM (self adaptive community-based model). In this model, each node forms an interest which is dendriform from all resources it possesses. Then a bit sequence CID (community ID) is determined by the interest, and CID is the main metric to organize topology—nodes with the close CID will form a community which is a dense subgraph. SACM not only provides a mechanism to organize topology but also constructs the relationship between resources and topology which is the essential difference between structured and unstructured P2P.

Key words: SACM (self adaptive community-based model); unstructured P2P; interest; small-world

摘 要: 在非结构化 P2P 系统中有两个根本性的问题需要研究: 拓扑的自动生成和查询算法, 其中前者更为重要: 虽然查询算法通常是独立于拓扑结构的, 但一个结构良好的拓扑会极大地改善查询算法的性能。提出一种基于层次化兴趣表达的拓扑生成模型 (self adaptive community-based model, 简称 SACM)。在这种模型里, 每个节点由自身的资源整体类型倾向决定自己的兴趣 (interest), 并且采用树形结构来表达兴趣; 然后节点由兴趣产生一个二进制序列的 CID (community ID), CID 将成为拓扑形成的主要依据——具有相近 CID 的节点能聚集成一个连通性较高的子图 (社区)。SACM 不仅提供了生成聚类拓扑的算法, 更为重要的是, 它通过兴趣的定义及维护从统计上在资源和网络拓扑之间建立了联系。是否存在这种联系正是结构化 P2P 于非结构化 P2P 的本质区别。

关键词: SACM (self adaptive community-based model); 非结构化 P2P; 兴趣; 小世界

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

非结构化 P2P 系统最先在 Gnutella 中使用, 由于其完全随机的拓扑和泛洪的查询算法, 使得在扩展性上的表现不能令人满意。之后, 人们对非结构化 P2P 系统的研究主要从两个方面进行: 一是如何构建具有可扩展性和

* Supported by the China Next Generation Internet Project under Grant No.CNGI-04-12-1D (国家发改委 CNGI 示范项目)

Received 2006-05-21; Accepted 2006-11-03

稳健性的网络拓扑;二是开发更有效、代价更小的查询算法.虽然查询算法通常独立于拓扑结构,但一个组织良好的拓扑会极大地改善查询算法的性能.目前,人们对非结构化 P2P 拓扑模型的研究主要是把图论和复杂网络理论的一些研究成果应用到 P2P 中,例如 Small-World 现象^[8-10,12]、基于兴趣的节点分类^[3,18]、引入 Super node 使网络具有层次化结构^[11,16,17]等.但是,这些研究都是从拓扑本身的角度出发,认为一个具有聚类性、层次性和 Small-World 等特性的拓扑会为查询提供更好的底层环境.事实上,拓扑和查询算法之间还有更深层次的关系没有得到重视,即拓扑与资源之间的相关性.在结构化 P2P 系统(通常是 distributed hash table,简称 DHT)中,拓扑不仅仅是节点之间的位置关系,更重要的是为资源——一种原本没有位置关系的元素——赋予了与节点拓扑相似的关系.因此,在结构化 P2P 中,资源可以被精确定位;其查询算法也是基于(应用层)单播的.而目前所有的非结构化 P2P 系统都是资源和网络拓扑相互独立的.也正因此,非结构化 P2P 系统的查询只能是基于泛洪(flood)的.

本文的一个重要思想就是,试图通过“兴趣”这个量化值建立起资源与网络拓扑间的统计相关性.已有很多文献就引入“兴趣”对非结构化 P2P 造成的影响进行了深入的分析,但是其对“兴趣”的定义和使用大都只是为了把一些节点归为一类,进而实现分组拓扑,而没有让“兴趣”与现实社会中的兴趣受使用者的控制,P2P 节点表现出很多人为特性,即建立关联;兴趣应该具有的一些特性没有被表达出来,例如包容性(即一个人的兴趣可以覆盖另一个)、排斥性(两个人的兴趣相互抵触)、层次性(包容性的一种表现,按兴趣的广泛程度分层)等.本文将把现实世界中的兴趣模型(如图 1 所示)用于 P2P 系统,并用兴趣树来表达,如图 2 所示.然后对节点上的每个资源按照兴趣树的形式进行分类,具体过程是:从图 1 中树的根开始进行广度优先遍历,如果该资源属于某个类型,就把该类型设为 1,这样就获得了关于该资源的一个二进制序列 TID(type ID).每个资源都有一个唯一的 TID,某个节点上所有资源的 TID 加权累加就是该节点的兴趣,用 IST 表达.给定一个门限值 δ_0 (全局一致),当 IST 中某一类型的值大于 δ_0 时,则表明对该类型的资源感兴趣,用“1”表示.再广度优先遍历兴趣树就得到二进制序列 CID.CID 的变化体现节点共享资源的变化,也就是兴趣的变化.之后,我们为 CID 定义距离,作为节点选取邻居的标准;在不断的交易(即查询)中,节点不断获取新的邻居,丢弃兴趣相差较大的邻居,从而实现在社区之间的跨越,并最终到达理想的社区.

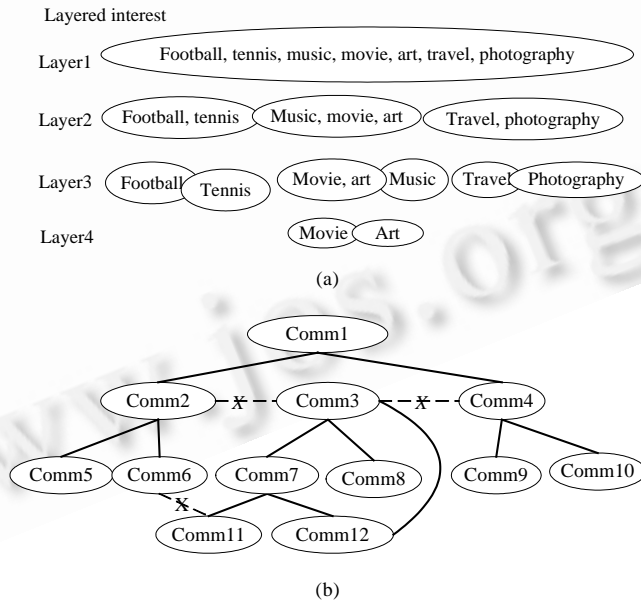


Fig.1 An example of interest and community
图 1 一个兴趣与社区的例子

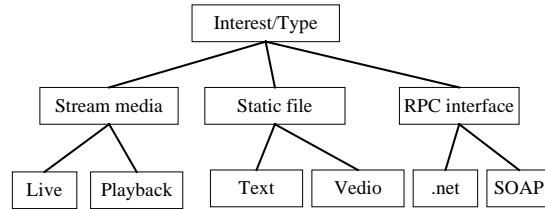


Fig.2 Structure of interest, an example

图 2 兴趣树的结构,一个例子

从上面的过程可以看出,这种拓扑形成模型是完全分布式的,对每个节点来说根本不知道任何拓扑相关的先验信息,而且没有引入 *Supernode*;另外是动态的,我们并不要求节点保持一种兴趣,也不要求节点一定处于其 *CID* 所表示的社区中;还有就是这种兴趣模型(也就是拓扑模型)是层次化的,即兴趣之间并不是对等的;最后,这种社区的划分是基于统计的,即并不确知某个节点处于哪个社区,社区之间的分界是模糊的.在 *SACM* 所形成的拓扑之上,可以承载各种查询算法,但尽可能地利用拓扑信息的算法将获得更好的性能.例如,在本文的仿真中采用的查询机制是:在查询时,先对要查找的资源进行分类(可以是精确的,也可以是模糊的)获得一个 *TID*,然后按照邻居的 *CID* 与 *TID* 的距离选取邻居,也可以按照邻居 *CID* 与本节点 *CID* 之间的距离选取邻居等.总之,*SACM* 提供了一个平台,如何利用这个平台开发更有效的查询算法不在本文的讨论范围之内.

本文第 1 节介绍已有的与非结构化 P2P 拓扑研究相关的工作.第 2 节详细论述节点兴趣的表达方法.第 3 节是仿真设计并对结果进行分析.

1 背景知识及相关研究

在文献[2]中,作者把 P2P 系统分为 3 类:集中式(*napster* 等)、分布式但结构化的(*CAN*,*chord* 等)、分布式但非结构化的(*Gnutella* 等).然而,实际中使用的系统几乎都是非结构化的.结构化 P2P 系统以 *DHT* 为主要特点,其资源与系统的拓扑有密切的联系.这一方面使得资源的定位显得异常简单,但另一方面,也给模糊查询带来很大的麻烦——两个本身相差很小的资源经过 *hash* 运算后可能位于完全不同的两个位置,也就是说,资源的相似性不能从位置之间的距离体现出来.非结构化 P2P 系统拥有松散的体系结构,节点只是根据一些简单的规则加入到系统中,一个节点所掌握的所有信息只是一系列的邻居节点的地址;更为重要的是,在非结构化 P2P 中,资源是无法被定位的,即资源与拓扑之间是相互独立的;节点想查找任何资源只能进行泛洪.非结构化 P2P 的这个特性极大地限制了它的可扩展性和查询效率.为了解决这个问题,人们开发出新的查询算法以期减少查询报文的复制^[1,3,6,16-18],或者通过改进邻居选择规则来控制系统的拓扑^[4,7,14].

文献[1]实现了一个基于 P2P 的骨干网,骨干网中的每个节点管理一定数量的客户节点.查询消息仅仅在骨干网中按照 P2P 方式传输,文献[1]提出了一种应用层的广播协议,以减少查询消息被复制的数量.不同于文献[1],文献[16]把随机图理论用于骨干网中.文献[17]将 *Bloom-Filter* 用于拓扑的自组织过程中.文献[3,16-18]引入了兴趣,并用它为每个节点定义 *profile* 作为邻居选择的基础;其目的是构建一个分组拓扑,并使之具有 *Small-World* 的特性.文献[6]通过实验评估了几种拓扑结构下节点失效对系统性能的影响,即系统的容错能力.文献[7,14]从理论和实验上分析了 *Random Walk* 机制的性能.文献[4]研究了递归和非递归查询算法.非递归算法下所有的查询报文都由查询的发起者产生,其优点是查询者可以完全控制查询进程,但是会增加报文量和延时;递归算法即查询者通过邻居转发其查询请求,使之向全网络中泛洪.文献[4]还提出了一种结合二者优点的机制.文献[5,13]通过缓存机制来提高系统性能.文献[5]缓存最近使用过的查询请求,文献[13]缓存最近成功的查询所经历的路径信息.

对非结构化 P2P 系统拓扑形成机制的研究,就是要让系统具有 *Small-World* 特性,如六度分离,即任意一对节点间存在一条短路径;高聚类性,即系统中节点聚集成一些密集的团等.在图论中用最短特征路径和聚类因子来描述一个 *Small-World* 的网络.如何使网络成为一个 *Small-World*,并利用其性质来提高系统性能是非结构化

P2P 的一个研究热点.文献[9,10]描述了 Small-World 现象,文献[9]给出了一些有用的定理,而文献[10]仿真了 WS(一种用来研究 Small-World 的简化模型^[8])模型.文献[12]把 WS 更是把模型用于 P2P 系统中.

2 兴趣的表达及社区的维护

2.1 兴趣树

所有引入“兴趣”的非结构化 P2P 模型都具有相同的操作,即利用“兴趣”来定义节点间的逻辑距离,然后以之作为选择邻居的标准.因此,以什么形式来表达“兴趣”非常重要.前面提到,本文所定义的兴趣是层次化的,这里我们采用树形结构来定义兴趣,如图 2 所示.由于兴趣是由资源的 TID 的累积,故兴趣树也可称为类型树.首先我们假设,资源是可以被分类的.这个假设通常是可以成立的:图书馆的索书号可以作为一个例子.其次,资源不仅仅是文档、文件等,还可以是流媒体,甚至可以是 RPC(remote procedure call)接口.我们定义的兴趣树有以下几个特点:(1) 树中层次越高的节点代表着一个更广泛的类型,如图中“静态文件”比“文本文件”的范围更大;(2) 每一层的节点所代表的类型不能相互交叉;(3) 为了便于实现,我们这里限定树的每个叶子节点到根节点的距离相同,即所有叶子节点都处于同一层;如果按实际情况创建的一个兴趣树有些叶子节点不在最低层,则为该叶子节点添加一个类型与其一样的子节点,直至达到最低层为止.

在实现中,兴趣树及把资源按兴趣树进行分类是一个独立于 SACM 的模块,有很多种方案可以使用:利用文件的头信息(如 Linux 下的 file 命令),或者利用文档检索中的经典模型 VSM(vector space model)等.而且,这个模块是可扩展的、兼容的.在实际系统中,更新的版本中可能包含更复杂的兴趣树,可以在更细的粒度上区分资源.

SACM 添加共享资源时,广度优先遍历这个类型树,如果资源属于树中某个节点所描述的类型,且该节点是叶子节点,则将其 value 域增加一个全局一致的量 $iststep$,这样就完成了资源的添加和兴趣的更新.然后再次遍历兴趣树,如果某个叶子节点的 value 域大于全局一致的值 δ_0 ,就认为对该类资源感兴趣,用“1”标志;对于非叶子节点,只有当它的所有子节点都被标为“1”时才被标“1”.这样又得到一个二进制序列 CID,完成了对 CID 的更新.删除资源时只需把前面所说的叶子节点的 value 域减少 $iststep$,就实现了兴趣更新;然后再次遍历兴趣树获取的 CID,就是更新的 CID.

2.2 社区的维护及查询算法

CID 是 SACM 中非常重要的量,它指示了节点应该处于的社区,此后,邻居的选择、资源查找时转发节点集合的选择都是以 CID 为基础的.理想情况下,当所有节点已经位于 CID 所标志的社区中时,整个系统就构成了一个以社区为单元的类似 IPv6 地址体系的拓扑结构.这种结构不仅把节点按照兴趣进行了聚类,更重要的是把资源也按照类型进行了聚类,这对于查询算法而言是一个十分重要的信息,因为查询报文有了方向性.但是实验表明,SACM 的拓扑还没有达到理想情况,这与仿真持续时间、节点发起的查询内容几个重要参数的取值($iststep$ 、兴趣树的结构及 δ_0)有很大关系.

CID 是通过定义距离来起作用的,一个好的定义,即一个能够充分表达 CID 含义的定义能够提高系统的性能.如图 1 所示,一个好的定义应该能使图 1(a)所示的社区群具有图 1(b)所表现出来的联系,即(1) 要能区分出各个社区;(2) 同层或非直系关系社区之间应该尽量减少联系(即其成员节点不要互为邻居),如图 1 中的虚线所示;(3) 社区的划分是基于统计的.在本文中,我们采用公式(1)来定义 CID 间的距离:

$$d = \sum_i \begin{cases} (\alpha_i |D_i - D'_i| + \beta_i |\bar{D}_i \wedge D'_i - 0|); & \text{if } (|D_i - 0| > |D'_i - 0|) \\ (\alpha_i |D_i - D'_i| + \beta_i |D_i \wedge \bar{D}_i - 0|); & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

绝对值表示码重.其中, $CID=D1D2\dots$,即 CID 被划分为几个域,在计算距离时,对不同的域使用不同的权重.例如,图 2 所示树中不同层的节点被分在不同的域,显然,处于上层的域应该具有更大的权重.另外, $\alpha_i < \beta_i$,式(1)的含义是:首先用 α_i 为权计算基本距离;如果 CID 的域 D_i 的码重大于 CID' 的域 D'_i ,则用 D_i 为 0 但 D'_i 为 1 的位数乘以 β_i 作为附加距离.由于 $\alpha_i < \beta_i$,故附加距离会产生重要的影响.附加距离的引入是为了区分包容性和排斥性,如图 1(b)中虚线所示.对于 CID 距离的计算,这里给出一个例子: $CID=111,101,001$ and $CID'=100,010,001$, D_i 由逗号

区分,这样,距离 $d=2\alpha_1+3\alpha_2+\beta_2$.

当一个节点通过一个 bootstrap 节点加入到网络中,它将继承 bootstrap 的邻居表,且被加入到 bootstrap 的邻居表中.随后,它将不断地发起查询,对于那些成功的查询,它把对应节点作为自己的邻居候选,然后对邻居表及候选表一起排序,删除那些与自己 CID 距离太远的节点.如此不断反复,节点将逐渐地从初始的社区跨越到其 CID 所标志的社区中去.我们需要从两个方面去考虑这种机制的性能:1) 能否实现社区的划分;2) 是否会出现某个社区不可达.这两点通过 α_i 和 β_i 来控制: α_i 决定了区分两个不同社区的基本距离,如果 α_i 过小则不足以区分,过大则粒度过细; β_i 更进一步明确区分兴趣相互排斥的社区.

本文的主要内容是研究 SACM 所形成的拓扑的性质,而不关注查询算法.因此,在此后的仿真中采用泛洪机制,只是在转发过程中选取一定数量的邻居,即与查询资源的 TID 距离最近的和与发起查询的节点的 CID 最近的邻居各选一些,分别称为第 1 类邻居和第 2 类邻居.第 1 类邻居保证查询报文在社区内部和上层泛洪,第 2 类邻居保证查询报文向目标节点泛洪.

3 仿真模型设定及结果讨论

3.1 仿真模型描述

为便于讨论,我们用图 G 表示系统中节点之间的关系. G 的邻接矩阵 P 中元素 $g_{ij}=1$ 表示节点 j 在节点 i 的邻居表中,否则不在.由于我们使用单向邻居,因此 P 是一个非对称的矩阵.用于衡量拓扑结构参数主要有最短特征路径:

$$L(G) = \frac{1}{V(G)(V(G)-1)} \sum_{u,v \in V(G)} d_{uv},$$

其中, d_{uv} 是节点 u 和 v 的最短路径长度,并设当 $u=v$ 时,值为 0.聚类因子

$$C(G) = \frac{1}{V(G)} \sum_{v \in V(G)} \frac{E(G_v)}{V(G_v) \times (V(G_v) - 1) / 2},$$

其中, G_v 表示节点 v 与其邻居组成的子图.从定义中容易看出其物理意义: $L(G)$ 是图 G 中所有节点对之间最短路径长度的和与 G 中节点对数的比值.显然,对于一个 P2P 系统来说,比值越小则查询跳数越少; $C(G)$ 是图 G 中任意节点与其邻居组成的子图的实际边数和最大可能的边数的比值的和除以 G 的节点数,这个值体现了图中一个小范围内边数的多寡,即图的连通程度.文献[9,10]的讨论显示,如果一个非结构化 P2P 系统的拓扑具有 Small-World 特性,则会极大地提高系统的性能.在后面的仿真中,我们将从 $L(G)$ 和 $C(G)$ 两个方面讨论 SCAM 所形成的拓扑.

在仿真中,我们采用如图 3 所示的模型. $P[n]$ 表示在进行第 n 次查询时的网络拓扑.当发起第 n 次查询时,首先给定发起查询的节点 $node[n]$,该节点按照事先设定的 PreCID 选取一个资源 $TID[n]$ (在 PreCID 附近随机选取)进行查询.查询算法如前所述.如果查询成功,即有结果(1 个或多个) $nodes[n]$ 返回,则按第 2 节所述的更新 $P[n]$ 为 $P[n+1]$,如此反复, $P[n]$ 最终趋于稳定.拓扑的初始值 $P[0]$ 是一个完全随机的矩阵;并且初始时,资源在节点上均匀分布.

仿真中我们设定了 1000 个节点,分 9 个社区;每个节点初始包含资源 100 个,最大资源数 300 个;每个节点的最大邻居数为 10,查询时每次选取第 1 类邻居和第 2 类邻居各 3 个; TTL 的最大值设为 10;查询时的精确度为 1%.查询精度定义为要查找的资源的 TID 与满足条件的资源的 TID 之间的距离与最大距离的比值,该值越小则越精确.

3.2 仿真结果及分析

本文的主旨是考察 SACM 对非结构化 P2P 系统拓扑形成的影响,在仿真中,我们从以下几个方面进行分析:

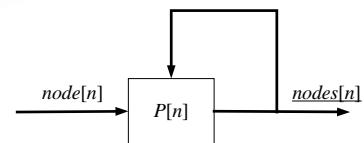


Fig.3 Model for simulation

图 3 仿真模型

(1) 随着查询次数的增加,系统拓扑的变化(通过最短特征路径 L 和聚类因子 C 表现);(2) 预设社区数目对最终形成的拓扑的影响;(3) 最大 TTL 值对最终形成的拓扑的影响;(4) 查询时精确度对最终拓扑的影响.

图 4 是 C 和 L 随查询次数的变化.仿真中,我们把系统拓扑初始化为完全随机的,然后随机选取节点发起查询请求,总共 20 000 次,过程中每隔 200 次查询就输出 1 次系统拓扑(邻接矩阵 $P[n]$).

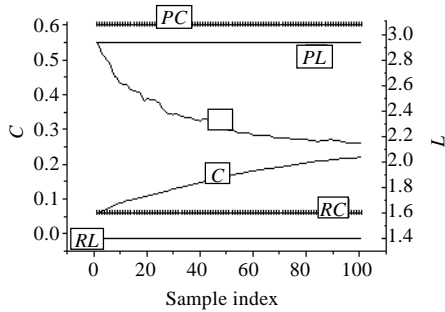


Fig.4 C and L change along with query procedure

图 4 C 和 L 随查询过程的变化情况

从图 4 中 C 曲线可以看出,SACM 使得系统拓扑的逐步具有了聚类性, C 的值从初始的(完全随机)0.058 02,到最后接近稳定时的 0.219 42.如图 4 所示,我们还计算了一个理想聚类的拓扑的聚类因子 $PC=0.60016$ 作为 SACM 的理论上限.从仿真中可以看出,SACM 逐步趋向这个上限;从曲线的走势可以看出,拓扑在前 4 000 个查询时变化最快,随后变化趋缓,但是始终存在正斜率.获得 L 曲线的仿真环境相同.与 C 的变化相适应, L 逐步变小,从初始时的 2.933 85 到仿真结束时的 2.145 06.这里,我们也给出 SACM 下 L 的理论下限 $PL=1.40206$. C 和 L 是标识 Small-World 现象的重要参数,从仿真中可以看到,SACM 的拓扑形成过程确实是向着 Small-World 的方向进行的.从量化的角度看聚类性:如果我们把初始状态,即完全随机状态的聚类度记为 0,而把理论上限记为 1,那么此次仿真中,SACM 的最终聚类度为 0.297 5;对最短特征路径 L 也做这样的处理,可以得到聚类度为 0.485 1.

为了对系统拓扑变化有一个直观的了解,图 5 和图 6 给出了 15 个节点 3 个社区(其中第 1、第 3 社区处于同层,而第 2 社区处于上层)时系统拓扑的初始和最终的邻接矩阵.容易看出,图 5 所体现的是一个随机的拓扑,“1”的分布没有显著的特征;而图 6 则明显看到,对角线上出现了 3 个 5×5 的包含很多个“1”的子矩阵.这 3 个子矩阵就是预先设定的 3 个社区,社区内部几乎是全连接,而社区之间存在不多的连接:这正是具有 Small-World 特性的网络——网络被分成多个密集的组,组内存在丰富的连接,组之间存在一些远连接.邻接矩阵的第 i 列对应第 i 个节点是否被其他节点作为邻居,也就是说,第 i 列的“1”越多,则表明第 i 个节点的兴趣越广泛,应该处于上层社区;从图 6 中可以看到,第 2 个社区中的节点被除了自己社区中的节点以外的 7 个节点加为邻居,充分证明了社区 2 处于上层.

图 5 和图 6 展示了 15 个节点的邻接矩阵。图 5 是初始拓扑，显示为一个稀疏且随机的矩阵。图 6 是稳态拓扑，显示了三个明显的 5×5 子矩阵，分别对应三个社区。社区内部连接密集，而社区之间存在少量远连接。



Fig.5 Initial topology
图 5 拓扑的初始状态

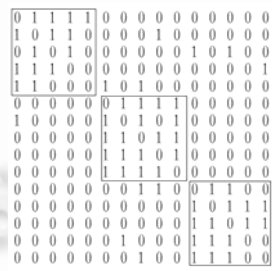


Fig.6 Steady topology
图 6 拓扑的稳定态

为了找出社区数对系统稳态时的 L 和 C 的影响,我们分别对社区数为 3,4,5,7,9; n 从 1~14 进行了仿真.结果如图 7 所示,可以看出:当社区数为 4 和 5 时,即平均每个社区的节点数为 112~250 时,系统的拓扑特性最好;随着社区数目的增多逐渐变差,最后停留在 $L=2.38, C=0.11$ 附近,而当社区数过小时,性能迅速下降.这说明社区的数目(每个社区的节点数)是一个很敏感的参数,在实际中,应该选择合适的社区数,即选取合适的兴趣树.当社区数很小时,每个社区的规模过大,同时,由于最大邻居数的限制,实际上社区中的连接很稀疏(与社区的定义相违背);系统整体也就表现出较大的 L 和较小的 C .当社区数很大时,社区之间的远连接没有太大的意义.

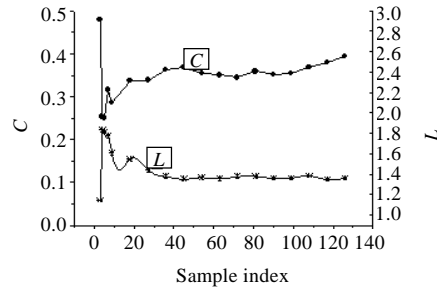


Fig.7 C and L change along with number of community under steady status

图 7 稳态时 C 和 L 随社区数的变化

TTL 对系统稳态拓扑的影响如图 8 所示.很显然, TTL 越大,对拓扑形成越有利,因为这样可以在尽可能广的范围内选择邻居.从图 8 所示的两条曲线也可以看出是单调递增的,并最终都趋向水平.但是,较大的 TTL 会给系统的带来很大的负担,因此,我们应该在保证系统拓扑尽可能好的前提下尽可能地减小 TTL 值.图 8 中可以看出, $TTL=7$ 是一个比较理想的值.

最后来看查询精确度对系统稳态拓扑的影响.我们对精确度 0.001,0.002,0.003,0.004,0.005,0.01,0.03,0.05,0.07 进行了仿真,结果如图 9 所示.容易看出,C 和 L 曲线都存在极值.精确度太高,则查询成功率低,不利于发现新邻居,使拓扑改变缓慢;反之,查询成功率虽然高了,但发现的新邻居的兴趣不符合要求的可能性也增加了.从图 9 中容易看出,在仿真中,0.01 附近是最佳值.

图 7~图 9 显示了几个重要参数对系统最终拓扑的影响.在实际中,需要根据情况评估各个参数的最佳值.

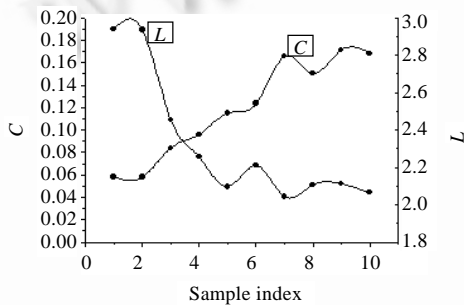


Fig.8 The effect of the value of MAX_TTL

图 8 MAX_TTL 的影响

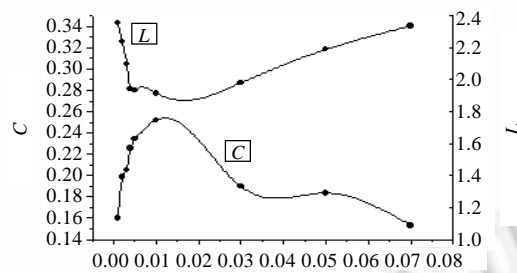


Fig.9 The effect of query precision

图 9 查询精度的影响

4 结束语

本文从资源与拓扑的相关性角度来考察结构化与非结构化 P2P 的区别,针对现有非结构化 P2P 系统的缺点,提出建立资源与拓扑之间的统计关联的思想.然后,在此基础上提出了一种新的基于层次化兴趣的拓扑形成模型 SACM.随后建立了仿真平台,并对 SACM 所形成的拓扑的特性进行了全面的评估.从最短特征路径 L 和聚类因子 C 这两个参数可以看出,SACM 能够在查询过程中不断地改善自身的拓扑以趋向于一个 Small-World 网络.我们还仿真了几个重要参数对 SACM 拓扑形成结果的影响:社区数目、最大 TTL 值、查询精确度,并得到了这些参数的实验最优取值.从仿真中我们可以得出:SACM 能够很好地推动拓扑形成过程向 Small-World 的方向进行,而且拓扑变化的收敛速度很快;兴趣树的选取对 SACM 有很重要的影响,使社区个数(每个社区的节点数)控制在一个范围内将能够很好地改善拓扑;当查询精确度为 1%时,SACM 性能最好.

但是,SACM 还有很大的空间可以进行改善,其聚类因子 C 和最短特征路径 L 与理论上限($PC=0.60016$, $PL=1.40206$)相距还较远.另外,本文主要关注于拓扑的形成过程,如何利用 SACM 形成的拓扑以提高系统的性能,如查询成功率、平均路由跳数、报文重复率等将是我们下一步的工作.

References:

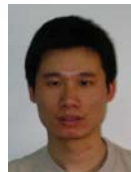
- [1] Li J, Vuong S. An efficient clustered architecture for P2P networks. AINA, 2004,1:278–283. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1283924
- [2] Lü Q, Cao P, Cohen E, Li K, Shenker S. Search and replication in unstructured peer-to-peer networks. ICS, 2002. 84–95. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=514191.514206>
- [3] Gatani L, Re GL, Gaglio S. An adaptive routing mechanism for P2P resource discovery. CCGrid, 2005,1:205–212. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1169468>
- [4] Li XQ, Wu J. A hybrid searching scheme in unstructured P2P networks. ICPP, 2005. 277–284. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1078032.1079401>
- [5] Cigliari E M, PanEur M, Trampus M, Vidmar T. Distributed message routing in unstructured P2P network overlay. EUROCON, 2003,2:79–82. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1248152
- [6] Samant K, Bhattacharyya S. Topology, search, and fault tolerance in unstructured P2P networks. In: Proc. of the 37th Annual Hawaii Int'l Conf. 2004. 289–294. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1265682
- [7] Bisnik N, Abouzeid A. Modeling and analysis of random walk search algorithms in P2P networks. HOT-P2P, 2005. 95–103. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1517796
- [8] Watts DJ, Strogatz SH. Collective dynamics of small world networks. Nature, 1998,393:440–442. <http://www.citeulike.org/user/rcrane/article/99>
- [9] Kleinberg J. The small-world phenomenon an algorithmic perspective. STOC, 2000. 163–170. <http://citeseer.ist.psu.edu/kleinberg00smallworld.html>
- [10] Manfredi S, di Bernardo M, Garofalo F. Small-World effects in networks: An engineering interpretation. ISCAS, 2004,4: 820–823. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1329130
- [11] Unger H, Wulff M. Towards a decentralized search engine for P2P network communities. Eruo-PDP, 2003. 492–499. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1183630
- [12] Zhou J, Lu HM, Li YD. Using small-world to devise routing algorithm for unstructured peer-to-peer system. Journal of Software, 2004,15(6):915–923 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/15/915.htm>
- [13] Jiang S, Zhang XD. FloodTrail an efficient file search technique in unstructured peer-to-peer systems. GLOBECOM, 2003,5: 2891–2895. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1258763
- [14] Gkantsidis C, Mihail M, Saberi A. Random walks in peer-to-peer networks. INFOCOM, 2004,1. <http://citeseer.ist.psu.edu/gkantsidis04random.html>
- [15] Ren Y, Sha CF, Qian WN, Zhou AY, Ooi BC, Tan KL. Explore the small world phenomena in pure P2P information sharing systems. CCGRID, 2003. 232–239.
- [16] Pyun YJ, Reeves DS. Constructing a balanced, $(\log(N)/\log\log(N))$ -diameter super-peer topology for scalable P2P systems. P2P, 2004. 210–218. <http://citeseer.ist.psu.edu/pyun04constructing.html>
- [17] Kojima K. Grouped peer-to-peer networks and self-organization algorithm. Systems, Man and Cybernetics, 2003,3:2970–2976. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1244343
- [18] Kobayashi H, Takizawa H, Inaba T, Takizawa Y. A self-organizing overlay network to exploit the locality of interests for effective resource discovery in P2P systems. SAINT, 2005. 246–255. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1386121
- [19] Gatani L, Lo Re G, Noto L. Efficient query routing in peer-to-peer networks. ITRE, 2005. 393–397. <http://www.ece.uc.edu/~oscar/p2parea/routing/showdoc2.pdf>
- [20] Yang J, Lü ZH, Zhong YP, Zhang SY. A domain of interest based novel search scheme in P2P networks. Journal of Computer Research and Development, 2005,42(5):804–809 (in Chinese with English abstract).
- [21] Huang XL, Li Y, Liu F, Ma FY. ToA3: Beyond the limit of unstructured P2P networks. ICAS/ICNS, 2005. 40–40. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1559892

附中文参考文献:

- [12] 周晋,路海明,李衍达.用 Small-World 设计无组织 P2P 系统的路由算法.软件学报,2004,15(6):915–923. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/15/915.htm>
- [20] 杨舰,吕智慧,钟亦平,张世永.一种基于兴趣域的高效对等网络搜索方案.计算机研究与发展,2005,42(5):804–809.



周晓波(1981—),男,湖北宜都人,博士生,主要研究领域为对等网络技术,宽带无线网络技术。



卢汉成(1977—),男,博士,讲师,主要研究领域为移动 IPv6,P2P。



周健(1981—),女,博士生,主要研究领域为对等网络技术,信息检索。



洪佩琳(1961—),女,教授,博士生导师,主要研究领域为移动 IPV6,QoS 控制。