

# 用户需求适应的P2P超级节点选取机制

杨寿保, 许通, 胡云

(中国科学技术大学计算机科学技术系 合肥 230026)

**【摘要】** 提出了一种基于层次分析法的超级节点选取策略。该策略刻画了不同用户对不同应用的需求度量, 根据阈值法过滤部分不满足最低要求者得到备选集合, 在此基础上构建层次分析模型, 给出相应的选择结果。仿真实验表明, 该机制能使用户满意度达到95%以上, 同时整体网络在检索延迟、网络带宽消耗等有比较好的折衷。

**关键词** 层次分析法; P2P网络; 超级节点选取; 用户需求; 权重

中图分类号 TP393

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2009.03.016

## User-Demand Adaptive P2P Super Node Selection Strategy

YANG Shou-bao, XU Tong, and HU Yun

(Department of Computer Science, University of Science and Technology of China Hefei 230026)

**Abstract** A super node selection strategy based on analytic hierarchy process (AHP) is proposed. In this strategy, the network parameters threshold filter is set up based on user-demand metrics calculation, the filter to the existing super nodes is applied to get the preliminary nodes set; and then analytic hierarchy process (AHP) model is constructed. The simulation results show that the node selection strategy can improve the user satisfaction degree to above 95%, and achieve a good balance between network searching delay and network bandwidth consumption.

**Key words** analytic hierarchy process; P2P; super node selection; user demands; weighing

随着Internet的普及以及计算机系统性能的大幅提高, P2P网络模式获得了广泛的应用。主流的P2P结构主要有集中式、完全分布式(结构化和非结构化)、半分布式(亦称混合式)3种类型。

集中式P2P(如Napster)维护简单、搜索效率高, 但容易造成单点故障、访问“热点”现象等问题。完全分布式非结构化P2P(如Gnutella)中的节点度数服从“Power Law”<sup>[2]</sup>规律, 具有较好的可用性, 但其广播洪泛<sup>[3]</sup>、随机漫步算法<sup>[4]</sup>、可扩展性较差。分布式Hash表(DHT)<sup>[5]</sup>的完全分布式结构化P2P能够自适应节点的动态加入、离开, 具有良好的可扩展性, 但其维护机制较复杂。

半分布式P2P网络(如KaZaA<sup>[6]</sup>)吸取了集中式和分布式非结构化P2P的优点, 选择性能较高的节点作为超级节点, 存储系统中其他部分节点的信息。

本文首先通过阈值过滤法得到相应的超级节点的“备选集合”, 同时构造QoS参数集合, 采用层次分析法<sup>[1]</sup>解决多目标决策的量化问题。实验结果表

明, 该机制可在一定程度上提高系统的性能以及用户的满意度。

### 1 相关工作

半分布式P2P网络的层次结构如图1所示。

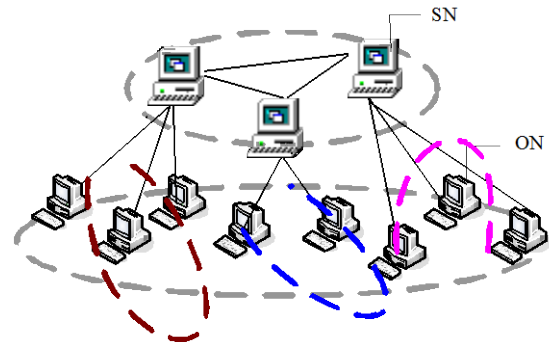


图1 P2P的半分布式结构

图中上层节点是超级节点(super node: SN), 下层则是普通节点(ordinary node, ON)。由于超级节点的使用, 减少了网络的流量, 提高了搜索效率。

半分布式P2P重叠(overlay)网络<sup>[7]</sup>中, 用户对于

网络各项性能指标的喜好是不一样的,如有的用户希望所选择的超级节点计算能力强,而有的用户希望所选择的超级节点存储容量大、信誉度高。此外,网络中备选的超级节点自身的性能不相同,用户在选取超级节点时,会根据对于性能指标的喜好选出符合自身需求的超级节点。超级节点SN首先必须满足用户的基本条件,如计算能力、存储容量、信誉度、在线时长等。

Gnutella2<sup>[8]</sup>系统将节点分为两类:

(1) 拥有较大访问带宽和高性能节点被选为超级节点SN。

(2) 其他节点被选为普通节点ON, ON对于自身所对应的SN采取就近原则,不考虑相应的用户喜好度。H<sub>2</sub>O<sup>[8]</sup> (hierarchical 2-level overlay)是一种非结构化P2P重叠网络中的超级节点选取方案,同样也是采用就近原则来对SN进行选取。文献[9]则采用线性比例方法,通过计算选择SN。

针对上述问题,本文提出基于层次分析法的超级节点选取机制,目的就是为了改善P2P重叠网络中对于用户需求的满足。

## 2 用户喜好适应的超级节点选取机制

### 2.1 P2P的3层网络系统结构描述

P2P的网络系统包括ON、SN和注册服务器(register server, RS)3层网络实体,如图2所示。

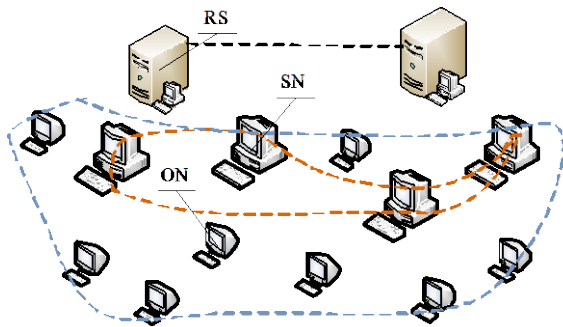


图2 P2P的3层网络系统结构模型

图中, ON是系统的普通节点,它存储自己所知区域内所有SN的消息,需要请求资源时,就与相应的SN联系; SN是系统的超级节点,每个SN负责管理系统中部分节点; RS是系统中的注册服务器节点,为了避免单点故障,通常取其数目大于1,且所有的RS保持数据的一致性。

本文中, SN主要有两类: (1) 系统设置的初始超级节点(original super node, OSN)。 (2) 运行时产生的虚拟超级节点(virtual super node, VSN)。

### 2.2 用户喜好适应的超级节点选取机制

基于以上的3层结构模型,普通节点为了能够加

入系统,必须先选择一个合适的接入点。为了定量和定性分析普通节点对于接入点的选择,需要定义一定的准则,使得普通节点在选择SN时能够有据可循。

本文首先采用阈值过滤从而得到相应的超级节点备选集合,然后采用层次分析法对SN进行选取,以适应不同用户对于相应性能的喜好。

#### 2.2.1 阈值过滤

本文定义表征超级节点SN<sub>*i*</sub>(*i* = 1, 2, ..., *n*)能力的参数集为{*c<sub>i</sub>*, *s<sub>i</sub>*, *t<sub>i</sub>*, *u<sub>i</sub>*, *b<sub>i</sub>*, *n<sub>i</sub>*} , 集中参数分别表示节点的计算能力、存储能力、信誉度、在线时间、带宽、邻居数目等。而系统中定义ON对SN能力需求的阈值为:

$$\{c_{\text{threshold}}, s_{\text{threshold}}, t_{\text{threshold}}, u_{\text{threshold}}, b_{\text{threshold}}, n_{\text{threshold}}\}$$

本文中,相应的阈值可以为P2P用户自己的设置或者P2P系统自身的设置。那么根据以下阈值过滤算法可以从超级节点集合*S*得到相应的备选超级节点集合SN。

阈值选取算法描述如下:

Select SN<sub>*i*</sub> ∈ *S*

$$\text{if SN}_i \text{ satisfy } \begin{cases} c_i \geq c_{\text{threshold}} \\ s_i \geq s_{\text{threshold}} \\ t_i \geq t_{\text{threshold}} \\ u_i \geq u_{\text{threshold}} \\ n_i \leq n_{\text{threshold}} \end{cases}$$

add SN<sub>*i*</sub> to SN

end if

#### 2.2.2 层次分析模型

本文超级节点选取层次分析法采用的模型如图3所示。模型的3层分别为目标层、准则层和方案层。用户通过分析方案层方案,针对各准则的综合特性,从而选择一个合适的方案。

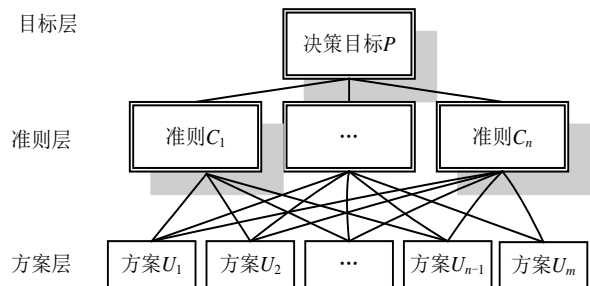


图3 层次分析模型

层次分析模型具体方法表述如下:

决策人根据主观偏向定义自身对各项准则的权重。本文用*a<sub>ij</sub>*表示准则*C<sub>i</sub>*与*C<sub>j</sub>*对决策人的重要性之比

( $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n$ ), 则全部结果可以用成对比较矩阵表示:

$$A = (a_{ij})_{n \times n}, a_{ij} > 0, a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \quad (1)$$

如A满足一致性条件约束, 则采用A的最大特征根(记作 $\lambda$ )的特征向量(归一化后)作为权向量 $\omega$ , 即 $\omega$ 满足:

$$A\omega = \lambda\omega \quad (2)$$

同时方案( $U_1, U_2, \dots, U_m$ )对于准则 $C_1, C_2, \dots, C_n$ 也存在相对重要性即权重, 因此针对每个准则 $C_k$ , 有一个成对比较矩阵:

$$B_k = (b_{ij}^k)_{m \times m}, b_{ij}^k > 0, b_{ij}^k = \frac{1}{b_{ji}^k} \quad k=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$B_k \omega_k = \lambda_k \omega_k \quad (4)$$

由此可得矩阵:

$$W_{m \times n} = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n) \quad (5)$$

通过以上的计算可得准则对目标决策的权重 $\omega$ 和方案针对准则的权重 $W$ 两种类型的权重。方案对决策人的权重Weight为:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & w_c/w_s & w_c/w_t & w_c/w_u & w_c/w_b & w_c/w_n \\ w_s/w_c & 1 & w_s/w_t & w_s/w_u & w_s/w_b & w_s/w_n \\ w_t/w_c & w_t/w_s & 1 & w_t/w_u & w_t/w_b & w_t/w_n \\ w_u/w_c & w_u/w_s & w_u/w_t & 1 & w_u/w_b & w_u/w_n \\ w_b/w_c & w_b/w_s & w_b/w_t & w_b/w_u & 1 & w_b/w_n \\ w_n/w_c & w_n/w_s & w_n/w_t & w_n/w_u & w_n/w_b & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中 A 为正反矩阵, 且满足:

$$a_{ji} \times a_{jk} = a_{ik} \quad (8)$$

式(8)表示一致阵中相关项的关系, 取对应特征根 $\lambda$ 的归一化的特征向量(即分量之和)表示诸因素对于上层元素O的权重权向量 $w^{(2)}$ , 即第二层对第一层的权向量已知。进一步, 可构造方案层对准则层的成对比较矩阵B。B<sub>k</sub>(k=1, 2, ..., n)中元素 $b_{ij}^{(k)} = c_i^{(k)} / c_j^{(k)}$ 是方案(选择超级节点i与超级节点j)对于准则k的优越性的比较尺度。因此可以计算出相应的权向量 $W^{(3)} = [w_1^{(3)}, w_2^{(3)}, \dots, w_n^{(3)}]$ , 并得到组合权向量 $w^{(3)} = W^{(3)}w^{(2)}$ , 该组合权向量表征出来的则是对于各个备选超级节点被选择的概率。

在对备选超级节点选择时, 本文采用概率随机算法选择超级节点, 即节点i将会以概率 $w_i^{(3)}$ 被选择。

### 3 仿真及结果分析

通过MATLAB仿真测试本文提出的机制性能, 在4 000 m×5 000 m区域随机生成235个普通节点ON, 另在网络中初始配置4个OSN节点, 从而得到

$$\text{Weight}_{m \times 1} = W_{m \times n} \cdot \omega \quad (6)$$

从而决策人可以按照相应的权重按照不同的方法选择相应的方案, 如按权重比例随机选择权重方案或者选择最大权重方案, 本文采用随机选择权重方案的方法。

#### 2.2.3 超级节点选取的层次分析模型

根据超级节点选取算法, 本文构建如上所述的目标层、准则层和方案层3层模型, 各层的描述如下:

- (1) 目标层选择合适的超级节点。
- (2) 准则层衡量参数集为{c, s, t, u, b, n}映射各个准则。
- (3) 方案层备选超级节点集合SN, 第i个方案对应的超级节点SN<sub>i</sub>被选择。

首先, 节点对于上述表征性能的参数集给出相应的百分比权重{w<sub>c</sub>, w<sub>s</sub>, w<sub>t</sub>, w<sub>u</sub>, w<sub>b</sub>, w<sub>n</sub>} ; 然后, 进一步构造准则层到目标层的对比矩阵:

如图4所示的网络初始配置图。

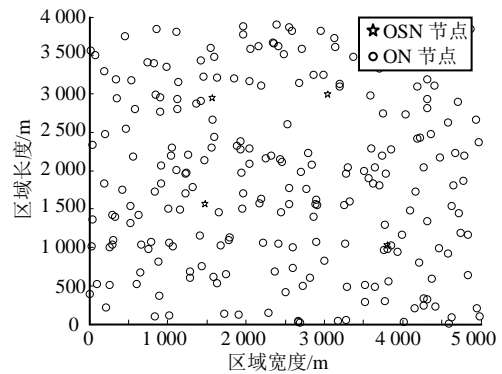


图4 初始网络配置图

随着节点加入到相应的Overlay网络中, 选择35个普通节点ON作为VSN节点, 形成如图5所示的拓扑图。

当ON的需求出现更改时, 选择出的SN节点也会相应地发生改变。本文定义对每个节点而言, 其在1 000次选择中对应的满意次数为节点的满意度。层次分析法所得的各ON节点的用户满意度均在95%以上, 而线性方法有部分降至75%以下, 这是因

为线性方法把所有的参数的权重看成是一致的、可叠加的,如图6所示。

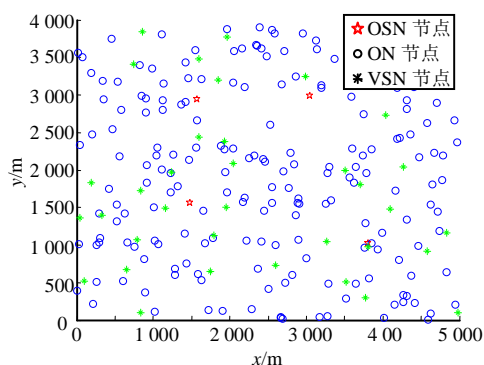


图5 含VSN的网络拓扑图

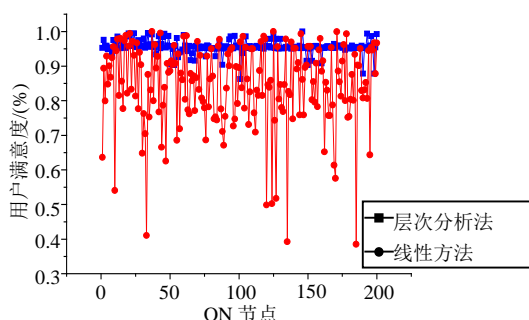


图6 用户满意度比较

## 4 结论与展望

本文针对3层非结构化P2P系统,提出了一种用户需求适应的超级节点选取机制。在该机制中,首先通过阈值过滤,过滤掉部分不符合需求的SN节点,其次通过构建层次分析模型,最终选择一个合适的SN加入网络。层次分析法的应用简化了多目标决策问题。仿真实验和结果表明,该模型方法能够提高用户满意度,更符合用户的需求。

### 参考文献

- [1] 姜启源. 数学模型[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992.  
JIANG Qi-yuan. Mathematical modeling[M]. Beijing: Higher Education Press, 1992.

- [2] FALOUTSOS M, FALOUTSOS P, FALOUTSOS C. On power-law relationships of the Internet topology[C]//SIGCOMM '1999. Cambridge, Massachusetts, USA: ACM Press, 1999: 251-262.
- [3] HARCHOL A M, LEIGHTON T, LEWIN D. Resource discovery in distributed networks[C]//18th Annual ACM-SIGACT/SIGOPS Symposium on Principles of Distributed Computing. Atlanta, Georgia, USA: ACM Press, 1999: 229-238.
- [4] CORNELLI F, DAMIANI E, VIMERCATI S D C, et al. Choosing reputable servers in a P2P network[C]//Proceedings of the 11th World Wide Web Conference. Honolulu, Hawaii, USA: ACM Press, 2002: 376-386.
- [5] STOICA I, MORRIS R, KARGER D, et al. Chord: a scalable peer-to-peer lookup service for Internet applications[C]//Proceedings of ACM SIGCOMM 2001. San Diego, California, USA: ACM Press, 2001: 149-160.
- [6] NATHANIEL S G, KREKELBERG A. Usability and privacy: a study of Kazaa P2P file-sharing[C]//Proceedings of the SIGCHI Conference on Human factors in Computing Systems. Lauderdale, Florida, USA: ACM Press, 2003: 137-134.
- [7] SRINIVASA T V, VINCELETTE C J, DASGUPTA D. Overlay network applications for network modernization and positioning for the future[C]//4th IEEE Region 10th International Conference. Bombay, India: TENCON, 1989: 306-309.
- [8] BRIAN F C. A content model for evaluating peer-to-peer searching techniques[C]//Proceedings of the 5th ACM/IFIP/USENIX International Conference on Middleware. Toronto, Canada: ACM Press, 2002: 18-37.
- [9] 郭良敏, 杨寿保, 郭磊涛. P2P网络中基于区域划分的超级节点选取机制[J]. 小型微型计算机系统, 2008, 29(2): 208-212.  
GUO Liang-min, YANG Shou-bao, GUO Lei-tao. Supernode selection mechanism based on district partition in peer-to-peer network[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2008, 29(2): 208-212.
- [10] DELAROCAS C. Immunizing online reputation reporting systems against unfair ratings and discriminatory behavior[C]//ACM Conference on Electronic Commerce. Minneapolis, Minnesota, USA: ACM Press, 2000: 150-157.

编辑 熊思亮