

基于网络坐标的无结构 P2P 节点聚类算法

周振朝, 费耀平, 李 敏

(中南大学信息科学与工程学院, 长沙 410075)

摘 要: 结合遗传聚类算法及 K 均值算法, 提出一种混合的节点聚类算法, 在无结构 P2P 网络中根据节点之间的距离进行聚类, 可以优化其覆盖网络, 提高系统的路由效率。实验结果表明, 该算法具有良好的可靠性及可扩展性, 能对节点进行有效聚类, 且聚类后的节点平均延迟明显降低。

关键词: 无结构 P2P 网络; 网络坐标; 聚类算法

Node Clustering Algorithm Based on Network Coordinate for Unstructured P2P

ZHOU Zhen-chao, FEI Yao-ping, LI Min

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410075)

【Abstract】 Combined with genetic clustering and K-means algorithm, a mixed node clustering algorithm is presented, which clusters the distance between nodes for unstructured P2P network. It optimizes the overlay network, and improves the routing efficiency. Experimental results show this algorithm has good reliability and expansibility. It can have an effective nodes clustering for unstructured P2P network. After clustering, the average latencies of nodes obviously decrease.

【Key words】 unstructured P2P network; network coordinate; clustering algorithm

1 概述

Gnutella, Kazza 等分布式无结构化 P2P 系统由于其简单性和易用性, 在 Internet 上得到广泛应用, 但是 P2P 系统在被广泛应用的同时也占用了大量 Internet 带宽。在 P2P 系统的一些应用中, 如文件共享服务、应用层组播等, 识别出网络上哪些节点距离自己较近, 能有效改进 P2P 系统的性能和减少网络流量。利用网络节点之间的距离对节点进行划分聚类, 是构建高效无结构化 P2P 网络系统的一种较好方法。

近年来, 一些 P2P 节点聚类算法相继提出, 文献[1]提出一种基于群集的对等网络体系结构, 节点根据 IP 地址被分组或簇, 簇与簇之间用类似 Gnutella 的无结构覆盖网络组成 P2P 网络, 提高了整个系统的伸缩性。但该方案需要中心服务器从 BGP 路由表中获取节点的网络地址。文献[2]提出使用网络坐标系统中得到的信息对网络节点进行聚类的方法, 网络节点通过 GNP 得到在映射后的欧氏空间中的坐标, 节点之间的距离可以通过数学公式算出。文献[3]设计一种基于随机散步的利用节点之间的连接性来对网络上节点进行聚类的算法, 算法自动将整个网络划分为合适大小的簇。文献[4]中节点获得网络坐标并计算出与其他节点之间的网络距离, 根据网络距离使用了一种快速 K 均值算法进行网络节点聚类, 但该文献随机选取聚类数和初始聚类中心, 对聚类结果影响较大, 从不同初始聚类中心出发得到的聚类结果不一样。

本文基于网络坐标系统 Vivaldi^[5]预测网络距离, 采用遗传聚类算法确定聚类数和初始聚类中心, 并对原始数据集进行均匀采样。遗传算法是一种通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法, 具有较强的稳健性, 可避免陷入局部最优。实验结果表明, 该混合聚类算法能有效地对无结构 P2P 节点进

行聚类。

2 节点聚类原理

节点聚类就是将网络上的节点按照远近关系组织在一起形成节点簇。聚类后同一个簇中的节点网络距离较近, 不在同一个簇中的节点网络距离较远^[6]。

无结构化 P2P 节点聚类问题可以等同为如下的形式: (G, V) 是一个有权图, D 是图中节点之间的距离矩阵, 把图划分为 k 个类, 并且 k 个子图的集合完全覆盖了图中所有的节点。划分的要求是划分后的任意子图中的 2 个节点之间的距离小于 D , 同时 k 最小。

假设 i, j 是对等网络 O 上的节点, $D(i, j)$ 代表节点 i, j 在物理网络中的距离。聚类的目的就是要将对等网络 O 分成 k 个非空的簇, 分别为 C_0, C_1, \dots, C_{k-1} , 对于 $\forall i \neq j, C_i \cap C_j = \emptyset$ 且 $O = \bigcup_{0 \leq i < k} C_i$, 并且使式(1)所代表的数值最小化, 设 $C_C = \{c_0, c_1, \dots, c_{k-1}\}$ 。

$$\sum_{\sigma \in C_C} \sum_{i, j \in \sigma} D(i, j) \quad (1)$$

如果每个簇中节点之间的距离能够最小, 那么簇中的所有节点之间的距离之和也是最小的, 从而对等网络中所有簇内节点距离之和的总和也是最小的。使式(1)最小化的聚类 C_C 是这个覆盖网节点聚类问题的最优解, 但是寻找这个最优解是一个 NPC 问题, 在存在大量节点的 P2P 系统中代价过于高昂, 因此, 通常选择求次优解或者较优解。

作者简介: 周振朝(1984—), 男, 硕士研究生, 主研方向: P2P 网络; 费耀平, 教授; 李 敏, 博士

收稿日期: 2009-12-20 **E-mail:** mutoulucky@163.com

3 网络距离预测

本文采用 Vivaldi 作为网络坐标系统的提供者, Vivaldi 是一种简单的、轻量级的网络坐标系统, 它给每个节点一个合成的坐标(Synthetic Coordinate), 以便于 2 个节点坐标间的距离能够准确地预测节点间的实际通信延迟。Vivaldi 在无结构化对等网络的每个节点上运行, 每个节点都有一个来自 Vivaldi 的网络坐标, 知道自己在几何空间中的位置, 无结构化对等网络上节点之间的距离通过计算两两之间的欧氏距离得到。将网络节点放置在 d 维的几何空间后, 假设节点 i 和 j 的坐标分别为 c_i 和 c_j , 那么节点 i 和节点 j 之间的距离可以用坐标 c_i 与 c_j 之间的几何距离 $\|c_i - c_j\| = \sqrt{\sum_{k=0}^d (c_{ik} - c_{jk})^2}$ 来计算。本文实验采用三维的几何空间。

4 混合的节点聚类算法

4.1 覆盖网络设计

为了在无结构化对等网络中使用本文提出的混合聚类算法, 本文设计一种双层的覆盖网络。节点分为超节点、普通节点和备份节点。超节点负责管理所在簇中节点的加入、离开, 并保存簇的中心坐标, 在算法执行时由其作为簇的控制节点来计算聚类准则函数, 所有的超节点形成上层的核心网络; 网络中其余节点作为普通节点构成底层网络, 通过聚类算法加入到不同的簇中; 备份节点从普通节点中选取出来作为超节点的备份, 超节点发生故障或者退出网络时, 备份节点会作为超节点使用。

双层的覆盖网络结构解决了混合聚类算法的分布式实施问题, 算法既可以遍历整个覆盖网络, 也可以遍历某个簇中的所有节点。当一个新的节点加入覆盖网络时, 它利用 Vivaldi 计算与上层核心网络超节点之间的距离, 加入离自己最近的簇中。

4.2 基于 K 均值学习遗传算法的聚类数确定

首先形成初始染色体组 Population, 计算染色体的适应函数 Fitness function, 再进化部分实用性好的染色体到 Mating Pool, 交叉、变异, 最后选择适应性强的染色体形成新一代染色体组 Population。循环一定代数, 找到最优的 k 值, 算法流程如图 1 所示。使用一个字节编码表示 k 值, 即最大类数 MaxClassnum 为 255, 能够满足本文实验要求。

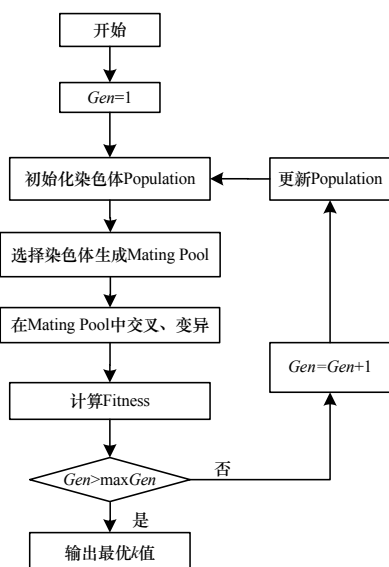


图 1 K 均值算法的实现

根据类间距离大、类内距离小的准则, 这里设定 $Fitness$ 函数为

$$Fitness = \omega_1 \frac{Dist\ of\ class}{1 + Dist\ in\ class} + \omega_2 \frac{1}{NumDiffer}$$

类间距离为

$$Dist\ of\ class = 2 \sum_{i=0}^k \sum_{j=i+1}^k dist(center_i, center_j) / (k(k-1))$$

其中, $center_i$ 是第 i 类的聚类中心; $dist(x, y)$ 是 x, y 的欧氏距离。

类内距离为

$$Dist\ in\ class = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^k \left(\sum_{j=0}^{num_i} dist(Sample_{i,j}, center_i) \right) / num_i$$

其中, num_i 是第 i 类中的样本数; $Sample_{i,j}$ 是属于第 i 类的第 j 个样本; $NumDiffer$ 表示各类间样本个数差别统计; ω_1, ω_2 是类间距离与类内距离的权重。经过多次实验逐次修正, 本文设置 $\omega_1=10, \omega_2=45.5$ 。

由于聚类数 k 的值比较大, 对种群中每一个 k 在数据量比较大的原始数据集上进行遗传聚类来计算 $Fitness$ 的值, 计算量很庞大, 本文采取对原始数据集进行均匀采样的操作, 得到一个能在一定程度上代表原始数据集特征的子集, 然后在子集的基础上对种群中的每一个 k 用遗传聚类算法聚类来计算 $Fitness$ 的值。这样, 在小样本上进行的聚类算法代价是可以接受的。

4.3 初始聚类中心的选取

类中心的选取也采用均匀采样技术, 对原始数据集进行均匀采样, 得到一个代表原始数据集特征的子集, 在子集的基础上用遗传聚类算法进行聚类, 遗传聚类算法的解对于所选评价标准来说是比较好的划分, 将遗传聚类算法的结果作为初始聚类中心, 可以找到更加紧凑的聚类, 并且聚类效果也比较好。由于该算法是在小样本集上完成的, 因此算法复杂度得到较好的控制。

4.4 K 均值聚类的 P2P 节点

得到初始聚类数 k 和初始聚类中心, 用 K-means 算法对完整数据集进行聚类, 执行流程如下:

- (1)数据对象中确定初始聚类数 k 和相应的 k 个初始聚类中心节点;
- (2)根据初始聚类中心节点, 计算每个覆盖网节点与这些中心节点的距离, 并根据最小距离重新对相应节点进行划分;
- (3)重新计算每个有变化的聚类的均值(即中心节点);
- (4)循环(2),(3), 直到基本稳定, 算法收敛。

5 模拟实验及性能评价

实验设计如图 2 所示, 基于 J-Sim 网络模拟器编写了仿真程序。网络坐标系统 Vivaldi 将来自数据集的网络节点映射到一个三维的坐标空间, 再以混合聚类算法对坐标空间中的点进行聚类, 从而达到对无结构化对等网络中的节点聚类的目的。

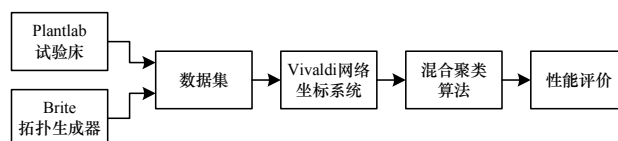


图 2 节点聚类算法实验设计

为了检验算法的有效性, 输入的数据集既有来自真实的互联网络平台 Planetlab 所采集的数据, 也有来自网络模拟器

Brite 产生的数据。

5.1 Planetlab 数据集

为了检验本文算法对无结构化对等网络节点的聚类效果,实验首先使用从 Planetlab 实验平台采集的真实数据。Planetlab 数据集记录了 Planetlab 上 226 个网络节点两两之间的网络延迟(距离),图 3 给出了节点之间延迟的概率累积密度分布。

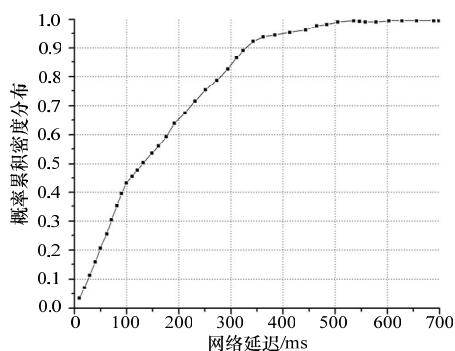


图 3 数据集中节点延迟的累积概率密度

首先对 Planetlab 数据集运行 Vivaldi 使节点获得自己的网络坐标,在前文设计的覆盖网络上运行混合的节点聚类算法进行聚类。

实验对每个时间的聚类效果进行了统计,结果如图 4 所示,聚类后簇中节点的平均延迟低于整个系统的平均延迟,与文献[4]相比,本文算法聚类效果更好。

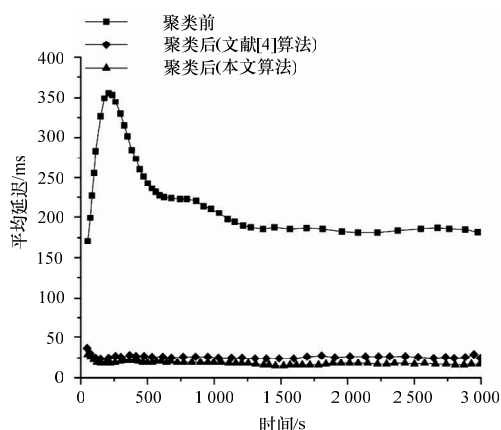


图 4 聚类效果(Planetlab 数据集)

5.2 Brite 数据集

Brite 是一种通用的拓扑产生器,由它生成节点之间的延迟和拓扑数据,模拟底层的物理网络拓扑。

本文利用 Brite 产生共 5 000 个节点的 Top-down 层次结构网络拓扑图,其中,10 个 AS 节点,每个 AS 域中 500 个 Router 节点,将 inter-domain 和 intra-domain 节点之间的延时分别控制在 40 ms ~ 80 ms 和 5 ms ~ 15 ms 内变化,节点最大连接度统一设置为 5。运行 Vivaldi 使节点获得自己的网络坐标,在覆盖网络上进行混合的节点聚类算法,结果如图 5 所示。

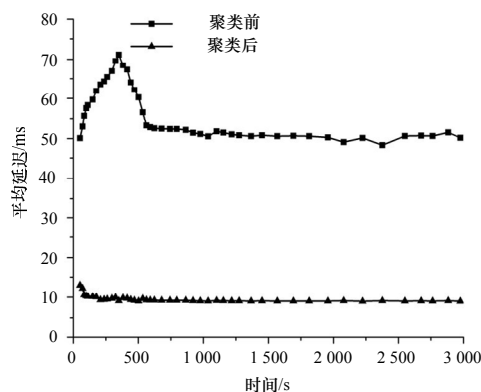


图 5 聚类效果(Brite 数据集)

可以看出,聚类后簇中平均延迟(距离)比聚类前平均延迟有所降低,聚类效果是可靠的。由于本文聚类采用的是分布式聚类算法,而且采用网络坐标系统预测节点间的距离,并不涉及节点之间端到端的测量,不会对等网络规模比较大时增加测量负载,因此算法具有较高的可扩展性。

6 结束语

本文提出一种无结构化 P2P 系统中基于网络坐标的节点聚类算法,采用遗传聚类算法确定聚类数和初始聚类中心,基于 Vivaldi 预测的节点距离进行 K-means 聚类,通过对 Planetlab 数据集和 Brite 数据集的模拟实验结果表明,利用该算法聚类后的无结构化覆盖网络平均延迟有明显降低,聚类效果好,算法有较高的可靠性和可扩展性。可以在 P2P 文件共享服务、应用层组播等得到应用,达到减少网络流量,提高路由效率的目的。由于本文算法依赖于部署在网络环境中的网络坐标系统,因此今后的工作是选取更加合适的网络坐标系统,降低网络坐标系统本身误差对节点聚类效果的影响。

参考文献

- [1] Krishnamurthy B, Wang Jia, Xie Yinglian. Early Measurements of a Cluster-based Architecture for P2P Systems[C]//Proc. of ACM SIGCOMM'01. New York, USA: ACM Press, 2001.
- [2] Agrawal A, Casanova H. Clustering Hosts in P2P and Global Computing Platforms[C]//Proc. of the 3rd IEEE/ACM Int'l Conf. on Cluster Computing and the Grid. Tokyo, Japan: IEEE Computer Society, 2003.
- [3] Ramaswamy L, Gedik B. Connectivity-based Node Clustering in Decentralized Peer-to-Peer Networks[C]//Proc. of the 3rd Int'l Conf. on Peer-to-Peer Computing. [S. l.]: IEEE Press, 2003.
- [4] Jiang Yi, Shi Hongbo, You Jinyuan. Network Coordinates-based Peer-to-Peer Hosts Clustering[C]//Proc. of IFIP Int'l Conf. on Network and Parallel Computing. Tokyo, Japan: [s. n.], 2006.
- [5] Dabek F, Cox R, Kaashoek F, et al. Vivaldi: A Decentralized Network Coordinate System[C]//Proc. of ACM SIGCOMM'04. [S. l.]: ACM Press, 2004.
- [6] 李 伟, 温 立. 基于网络距离度量和分簇的 P2P 流量控制[J]. 计算机工程, 2009, 35(7): 93-95.

编辑 陈 文