

面向网络吞吐量优化的 P2P 路由算法的研究

高晓燕

(华北科技学院 计算机学院, 北京 101601)

摘 要: P2P 网络主要任务是提高系统的吞吐量,从而为更多的用户提供服务. 网络吞吐量直接影响着 P2P 服务的可用性. 为了提高 P2P 网络服务的可用性,分析了 P2P 网络的带宽利用率,提出了一种基于网络吞吐量优化的路由模型,然后利用遗传算法实现了网络吞吐量的优化. 最后给出了算法的实验分析,并验证该服务路由算法的有效性.

关键词: 对等网络;吞吐量;路由;遗传算法

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)10-0001-04

Research on P2P Routing Algorithm for Network Optimized Throughput

GAO Xiao-yan

(Department of Computer and Science, North China Institute of Science and Technology, Beijing 101601, China)

Abstract: The main task of the P2P network is to improve the throughput of the system, so as to provide services for more users. Network throughput directly affects the P2P service availability. In order to improve the availability of the P2P network services, analyze the P2P network bandwidth utilization, put forward an optimized routing model based network throughput, and finish optimization of network throughput through genetic algorithm. Finally, the experimental analysis of the algorithm was given, and verify the effectiveness of the service routing algorithm.

Key words: P2P; network throughput; routing; Genetic algorithm

1 引言

P2P 服务路由研究是 P2P 网络的重要内容. 目前, P2P 路由主要分为非结构化和结构化的 P2P 路由研究. 非结构 P2P 网络是没有固定逻辑拓扑的 P2P 网络. 节点的加入和退出一般只影响直接邻居, 消息开销比较小. 典型的非结构 P2P 网络路由包括 Gnutella, Freenet, APPN, NeuroGrid^[1] 等. 非结构 P2P 网络路由已经得到广泛应用, 但面临可扩展性受限制、路由效率低、服务质量没有保证问题. 结构化 P2P 网络路由是指节点依照分布哈希表(Distributed Hash able, DHT)构造的, 结构 P2P 网络中每个节点有唯一的标识符, 根据消息目的地的标识符, 节点能够将消息路由到节点标识符与消息标识

符最为接近的节点. P2P 在商业、金融和旅游等领域得到了应用, 但是由于缺乏服务质量的保证影响了 P2P 服务在这些领域的广泛应用, 目前的 P2P 中对服务质量因素中网络吞吐量的考虑不是很多, 所以本文从网络吞吐量的角度研究 P2P 路由算法, 从而提高 P2P 网络的吞吐量.

2 P2P 服务路由问题

在计算机网络中端到端最佳吞吐量的理论研究领域是备受关注的, 而且有一定的难度, 这是由于网络拓扑结构的多样性和链路带宽的限制, 其中的理论计算往往是 NP 完全问题. 在因特网中计算一源点到多点的最大吞吐量等同于求最多 Steiner 树问题^[2]; 利用网络编码技术^[3], Z. Li 等人提出

收稿日期: 2013-01-20; 修回日期: 2013-03-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(61163050); 青海省自然科学基金项目(2012-Z-935Q)

一种线性规划在多项式时间内计算最佳吞吐量的方法. 受图论中计算网络最大流的最小割的启发^[2], 我们构造了一个 P2P 网络上近似最佳吞吐量的路由算法, 该算法可以优化 P2P 路由问题, 提高 P2P 网络的性能.

由于节点的性能关联到整个网络的性能, 对等网络节点在整个 P2P 服务网范围内的路由起到关键的作用, 从而对网络节点的带宽性能要求很高. 在 P2P 服务路由主要考虑节点的可用带宽, 从而保证每个的服务都能够达到可用性和稳定性的要求, 保证路由的服务质量. 因此对服务路由问题, 在考虑可用带宽和路径的带宽的利用率的基础上进行路由算法的研究.

针对本文需建立面向 P2P 服务路由算法, 可以从以下几个方面考虑影响服务路由的因素: (1) 节点之间可接受的连接带宽; (2) 节点的最大带宽; (3) 节点之间的会话时间. P2P 服务网络路由的目标是建立一条从源点到目的节点的满足上述服务要求的路径, 使该路径上 P2P 服务的吞吐量最大.

P2P 服务路由问题可定义为: 对于顶点数为 n 的图 $G = (V, E)$, V 为对等网络节点, E 为节点之间所对应的边. 每个节点可以动态加入和离开网络, b_i, b_j 分别表示节点 i 和 j 之间所能够分配的带宽^[4], 那么节点 i 和 j 之间的可用连接带宽 $b_{ij} = \min(b_i, b_j)$, c_{ij} 表示节点 i 和 j 之间的可接受最小带宽, 建立具有服务质量保证的 P2P 服务路由的目标是要发现 G 的图中的一条路径 $p(s, d)$ 以使 P2P 服务网络的吞吐量最大化, 同时满足以下条件:

① 所选的路径的带宽利用率大.

② 节点间的有效带宽在连接带宽和可接受带宽之间.

在 n 个节点的无向图 $G(V, E)$ 中, B_{ij} 表示分配给对等节点 i 和 j 的带宽, 流量 F_{ij} 代表节点 i 和 j 之间的流量. 定义节点 i 和 j 之间带宽利用率的标准来衡量网络吞吐量的优劣^[5]:

$$\rho_{ij} = \frac{F_{ij}}{B_{ij}} \quad (1)$$

假定源点 s 和目的点 d , $s \in v, d \in v$, 在给定的源点和目的点之间存在多条路径, 所有这些路径的集合表示为 $P(s, d) = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$, p 是 $P(s, d)$ 中的任意一条路径. 其中 $(i, j) \in E$, 变量 B_{ij} 表示分配给对等网络节点 i 和 j 的带宽, x_{ij} 是一个二元变量, 当 $x_{ij} = 1$ 时, 表示边 $edg(i, j)$ 是连接点 i 和 j 的, 当 $x_{ij} = 0$ 时, 表示边 $edg(i, j)$ 是未被用于连

接节点 i 和 j 的, b_{ij} 是用于连接节点 i 和 j 的可用的带宽; c_{ij} 为连接节点 i 和 j 的可接受的最小带宽. 综上所述, 该问题可以归为以下优化问题:

$$\begin{aligned} & \text{Max}_{p \in P(s, d)} \left\{ \sum_{(i, j) \in p} \frac{F_{ij}}{B_{ij}} * x_{ij} \right\} \\ & \text{s. t. } \begin{cases} B_{ij} \geq c_{ij} x_{ij}, (i, j) \in p(s, d) \\ B_{ij} \leq b_{ij} x_{ij}, (i, j) \in p(s, d) \\ x_{ij} \in \{0, 1\}, (i, j) \in p(s, d) \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

在上述模型中, 目标函数是: 在给定的源点和目的点之间存在多条路径, 求得所有这些路径的集合中的任意一条路径, 使得这条路径服务带宽的利用率最大. 该模型有三个约束条件, 第一约束条件中, 其中 $(i, j) \in p(s, d)$, 变量 B_{ij} 表示分配给对等主干节点 i 和 j 的带宽, c_{ij} 为连接节点 i 和 j 的可接受的最小带宽, 式子表示分配给对等网络节点 i 和 j 的带宽下限为 c_{ij} ; 第二约束条件中, 表明分配给对等网络节点 i 和 j 的带宽上限为 b_{ij} ; 第三约束条件 x_{ij} 表示对等网络节点 i 和 j 是否直接相连, 若是则 $x_{ij} = 1$, 否则 $x_{ij} = 0$.

3 P2P 服务路由的遗传算法的实现

文献[6-7]提出一种遗传算法, 主要解决如何找出一组链路来联接通信节点, 使得所选路径的代价(或时延)最小化, 且满足网络容量的约束条件. 遗传算法是一种高度并行、随机和自适应的优化算法, 它将问题的求解表示成“染色体”的适者生存过程, 通过染色体群的一代代不断进化, 包括选择、杂交、变异等操作, 最终收敛到“最适应环境”的个体, 从而求得问题的最优解或满意解. 遗传算法是一种通用的优化算法, 优化不受限制性条件的约束, 具有隐含并行性和全局解空间搜索等显著特点. 本文将运用改进的遗传算法求解 P2P 服务路由搜索问题.

求解问题的遗传求解算法如下:

① 群体初始化

给定一个源节点和一个目的节点, 群体中的每个染色体代表一条路径. 初始群体随机生成. 首先, 对每个目的节点 $d \in D$, 找出源节点 s 到 d 的所有能够发现服务的路径即 $x_{ij} \equiv 1$, 然后对每个目的节点 $d \in D$, 利用 Dijkstra 第 k 最短路径算法找出源节点 s 到 d 的所有能够满足带宽限制的路径组成路径集, 将选出的路径作为遗传算法编码空间的备选路径集. 设 R_v 为目的为 v 的路径的集合, 则 $R_v = \{P_v^1, \dots, P_v^i \dots P_v^k\}$, 其中 P_v^i 为目的地为 v 的第 j 条路径. 然后从每个路径集中任选一条路径, 将其作为初

始群体的染色体. 显然, 这样选出的路径能够找到所需的服务.

② 适应度函数

对于每条路径, 适应度函数定义为对等网络吞吐量的函数, 即

$$f(P) = \sum_{\langle i,j \rangle \in P} \frac{F_{ij}}{B_{ij}} x_{ij} \quad (3)$$

③ 选择

选择操作采用最优解保存法. 首先, 使用适应度比例法进行选择, 然后将当前群体中适应度最高的个体直接复制到下一代群体中. 各个个体的选择概率和其适应度值成比例, 个体适应度越大, 其被选择的概率就越高. 设群体大小为 n , 个体 v 被选择的概率 p_v 为

$$p_v = \frac{f(v)}{\sum_{v=1}^n f(v)} \quad (4)$$

④ 下一代群体生成

交叉操作采用相同链路保留的方法, 变异算子采用位变异. 假设给定两个父代路径, p_f 和 p_m , 通过交叉操作将生成子代路径 p_c . 既然 p_f 和 p_m 被选中, 说明它们的适应度值都比较高, 那么它们所共有的链路部分应该是造成它们适应度都比较高的主要因素, 代表了父代的优秀特征. 对于 p_f 和 p_m 中不同的链路部分, 在备选集中重新选择, 这样就构成一条完整的路径.

4 路由问题的遗传算法描述

问题算法伪代码描述:

Input: 给定源点 s 和目的点 d , n 为群体的大小, N 为运行的代数.

Output: 最后输出适应度值最大的染色体即为搜索服务的路径, 该路径上 P2P 服务的吞吐量最大.

Begin

For $v = 1$ to m

$$\sum_{v \in V} x_{ij}(v) > 0;$$

$P_v^j = \text{Dijkstra}(v)$;

$R_v = \{P_v^1, \dots, P_v^j, \dots, P_v^k\}$ // 选出备选路径集

IF $R_v = \phi$ then end; // 若是空集, 算法结束; 否则继续

For $v = 1$ to n

Pop(v) = random(Q_v); // 群体初始化

Fitness(Pop); // 计算适应度函数

值 $f(P)$

Statistics(Pop); // 找出适应度最大的

染色体

For gen = 1 to $N - 1$

Oldmax = MAX;

For $v = 1$ to n

$p_f = \text{Sel}(\text{Pop}); p_m = \text{Sel}(\text{Pop});$

// 选择两个父代染色体

Newpop(v) = Cross(p_f, p_m); // 进行交

叉, 变异

Fitness(Newpop(v));

Statistics(Newpop);

IF (MAX < Oldmax) then

Copy Pop(Oldmax) to Newpop(Minpp); // 保留上一代的最优个体

Statistics(Newpop);

Pop = (Newpop);

Output Pop(MAXPP);

END

5 实验分析

本实验运行环境为搭建 16 台 Red Hat Linux 7 操作系统上的 PC 机, 用 Java 来设计和实现^[8]. 基于 Waxman 的拓扑生成算法 $P_e(u, v) = \beta \exp \frac{-l(u, v)}{L_{\alpha}}$ 生成网络的拓扑结构. 为了验证基于服务的 P2P 服务路由算法的有效性, 随机抽选 16 台作为普通节点. 节点之间的通信利用 Java RMI 机制, 使用同步循环进行仿真模拟. 在每轮循环中, 每个节点从它的输入队列中读取信息, 然后按指定的路由规则进行处理. 为了验证系统的性能, 将之与 Gnutella 系统相比 (选择随机组成度为 4 的 Gnutella 网络拓扑).

在基于服务的 P2P 服务路由算法设定 $\alpha = 1, \beta = 4, \lambda_1 = 0.2, \lambda_2 = 0.5, \lambda_3 = 1$, 遗传算法的控制参数分别取群体规模为 50, 最大进化代数为 40, 杂交概率为 0.9, 变异概率为 0.1. 在两个系统中所有节点每两秒发送服务广告信息已产生网络阻塞, 因为实验在 LAN 的环境下推导, 所以两个节点之间的传送时间很短, 不足以反映真正的因特网环境, 因此每次传送在每两个节点之间增加 0.1 s 的延迟.

图 1 中反映了 P2P 路由遗传算法和 Gnutella 的 Dijkstra 算法的路径距离和网络吞吐量信息的关系. 从图中可以看出, 对给定的路径距离, 在开始的时候, Gnutella 的 Dijkstra 算法的吞吐量比 P2P 服

务网络遗传算法的吞吐量高,这是由于 Gnutella 的 Dijkstra 算法在起始状态表现出较好的性能,随着路径距离的增加用 Gnutella 的 Dijkstra 算法的吞吐量就赶不上用遗传算法求解的吞吐量,这是由于 P2P 服务网络路由算法都比 Gnutella 的 Dijkstra 算法造成的瓶颈少,吞吐量较大.从实验中看出 P2P 服务网络路由算法要比 Gnutella 的 Dijkstra 算法性能好.

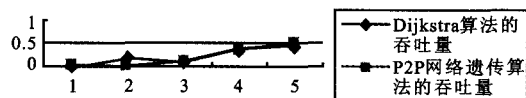


图1 P2P 路由遗传算法和 Gnutella 的 Dijkstra 算法的比较

Dijkstra 算法提供了从图的一个节点到另一个节点的最短路径,经过一次 Dijkstra 算法计算,可以得到从起点到图内被其搜索到的所有节点的最短路径,其时间复杂度为 $O(n^2)$ (其中 n 为图的节点数).在计算网络路由时,主要关心的是某两个特定节点之间的最短路径而不是起点到其他点的情况.遗传算法是一种就与自然选择和遗传变异等生物机制的全局性概率搜索算法.遗传算法求解问题时,搜索过程不受优化函数连续性的约束,具有良好的可操作性和简单性.遗传算法很适合解决复杂的组合优化问题,所以本文用遗传算法来解决 P2P 服务网络路由问题. P2P 服务网络路由问题采用遗传算法求解,而 Gnutella 的路由问题采用 Dijkstra 算法解决,实验结果表明遗传算法相对较快找到吞吐量信息较大的近似路由,这是由于遗传算法是一种模拟进化算法,它有很高的并行性,可以同时搜索解空间的多个区域搜索信息,从而降低算法陷入局部最优解的可能性;它具有很强的鲁棒性,所以能以很大的可能性收敛到最优解或近似最优解;分布式计算使得该算法易于实现并行性.

6 结束语

本文通过分析 P2P 网络的路由问题,引入服务

质量的吞吐量因素,建立了吞吐量优化的服务路由模型,通过遗传算法对服务路由进行了求解,给出了遗传算法求解问题的过程,然后用实验将建立的路由模型的遗传算法和 Gnutella 的路由问题的 Dijkstra 算法进行了比较,从而分析出 P2P 路由问题的遗传算法的可行性和有效性,由于 P2P 网络的动态性,需要进一步考虑如何充分利用改进的遗传算法来提高路由问题的求解方法.

参考文献:

- [1] Kant K, Iyer R, Tewari V. A framework for classifying peer-to-peer technologies[C]// Proceedings of the 2nd IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid (CCGRID'02). Germany: Berlin, 2002(15): 200-222.
- [2] 徐恪,吴建平,徐明伟. 高等计算机网络-体系结构、协议机制、算法设计与路由器技术[M]. 北京:机械工业出版社, 2003:130-150.
- [3] Raymond W Yeung. 信息论与网络编码[M]. 蔡宁,译. 北京:高等教育出版社, 2011:411-535.
- [4] Boschetti M, Jelasity M, Maniezzo V. A local approach to membership overlay design[J]. Computer Science, 2004(16):250-360.
- [5] 吴限,苏德福. 合作环境下 P2P 网络最大吞吐量算法研究[J]. 计算机工程, 2006,32(18):4-6.
- [6] Freisleben B, Merz P. Genetic local search algorithm for solving symmetric and asymmetric traveling salesman problems [J]. IEEE Int. Conf. Evolutionary Computation, 1996(96):616-621.
- [7] 李明. 详解 MATLAB 在最优化计算中的应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2012.
- [8] Liu Y, Athanasiadis G, Weale M E. A survey of genetic simulation software for population and epidemiological studies[J]. Human Genomics, 2008,3(1):79-86.

作者简介:

高晓燕 女, (1970-), 博士, 副教授. 研究方向为 P2P 网络、网络安全.