

一种结构化 P2P 网络拓扑匹配的通用算法^①

殷苗苗¹, 陈世平^{1,2}

¹(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200090)

²(上海理工大学 信息化办公室, 上海 200090)

摘要: 与非结构化 P2P 网络相比, 结构化 P2P 网络具有良好的可扩展性、鲁棒性。但是结构化 P2P 覆盖网络是直接建立在逻辑网络之上, 没有过多地考虑底层物理网络拓扑结构, 导致逻辑拓扑结构与物理拓扑结构严重不匹配。本文提出一种新的协议无关的拓扑匹配算法, 将现有的界标节点、自适应匹配算法与 IP 分配策略相结合构建初始拓扑结构, 优化节点交换算法来维护拓扑结构。模拟实验表明, 本算法提高了网络的拓扑匹配度, 具有更低的通信开销。

关键词: 结构化对等网络; 覆盖网络; 拓扑结构; 时间延迟; 节点交换

Generic Topology Matching Method Based on Structured P2P Network

YIN Miao-Miao¹, CHEN Shi-Ping^{1,2}

¹(School of Optical-Electrical & Computer Engineering, University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China)

²(Office of Information, University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Compared with the unstructured P2P networks, structured P2P networks have good expansibility and robustness. But structured P2P overlay network is directly based on logic network, not too much above the underlying physical network topology structure, which causes a serious topology mismatching between logical topology structure and physical topology structure. About the question, this paper proposed a protocol-independent topology matching method, by combining the existing beacons node, adaptive matching algorithm with IP distribution strategy to construct the initial topological structure, and by optimizing node switching to maintenance the network topology. Simulation experiments show that the algorithm improve the matching degree of the network topology, and meanwhile with lower traffic cost.

Key words: web information extraction; knowledge presentation; data intensive web pages; ontology-based keyword library

P2P 是未来网络的关键技术^[1], 当前对于 P2P 技术的研究着重于 P2P 网络拓扑结构以及资源定位搜索算法^[2]。根据拓扑结构 P2P 可以分为结构化 P2P 和非结构化 P2P, 与非结构化 P2P 相比, 结构化 P2P 网络具有潜在高效性、鲁棒性、可扩展性和数据位置的确定性。结构化 P2P 覆盖网建立在逻辑网络上, 建立查询路由时, 选择逻辑跳数少的路径作为最优查询路径。然而, 覆盖网络中的逻辑邻居节点在物理网络中往往相距很远, 因而造成了逻辑拓扑结构与物理拓扑结构

的不匹配, 路由在实际物理网络要走不少弯路, 造成物理网络中大量不必要的数据流量。

针对上述问题, 本文提出一种算法, 分别从初始覆盖网拓扑结构的构建和维护两方面做出改进, 去有效解决拓扑结构不匹配问题, 并降低通信开销。将界标节点、自适应匹配算法与 IP 分配策略相结合构建覆盖网, 不仅解决了落入同一区的最坏情况, 而且提高了划分粒度; 用节点交换算法对初始拓扑结构进行维护, 对交换次数进行优化, 在不改变网络结构的情况

① 基金项目: 国家自然科学基金项目(61170277); 上海市教委科研创新重点项目(12zz137); 上海市重点学科建设项目(S30504)

收稿时间: 2011-07-31 收到修改稿时间: 2011-10-230

下,降低了周期性探测带来的开销。

1 相关工作

结构化 P2P 网络拓扑算法主要有三类^[1]:

a)基于时间延迟的拓扑匹配算法。该方法根据节点到界标点的时间延迟来获取物理上较近的邻居节点,主要包括界标簇算法、自适应拓扑匹配算法、区域划分算法。界标簇算法[3]根据点到界标节点的网络延迟对这些界标节点进行排序,序列相同的节点分配到同一个箱子中,这种方法简单可扩展性好,但是粗粒度划分,没有考虑最坏的情况——所有节点落入同一个箱子。自适应拓扑匹配算法^[4]是源节点通过 TTL-k 探测信息,测出探测到的节点的 RTT,排序选出两个最小 RTT 值的节点,选其一所在域跳入,这种算法简单高效,但仍没有考虑所有节点可能落入同一区域。节点 ID 编码方法^[5]将覆盖图中 ID 空间映射到物理网络,首先通过界标算法对节点进行粗略的地理定位,再根据 IP 地址进行精确定位,该算法只考虑了节点加入时网络拓扑的构建,没有考虑节点离开或失效时网络拓扑的维护,不适合动态性高的网络。

b)基于位置感知的拓扑匹配算法^[6]。通过基于物理拓扑结构分配节点 ID 的方法来实现位置感知的数据定位,节点的坐标值可反映节点间的距离,逻辑邻居节点即为物理邻居节点,因此消息路由过程中每一跳都具有较低的延迟,比基于时间延迟的算法效率更高一些。但是没有考虑节点的异构性,造成节点的负载不均衡。

c)基于节点交换的拓扑匹配算法。节点交换的基本思想是:周期性地交换节点标号。因为节点标号的改变并未改变网络结构,所以该算法具有协议无关性;此外该算法明显降低了覆盖网络的平均时延。但是,这类算法还存在一些问题,如节点交换次数控制问题^[7]等。

上述算法中各有优缺点,本文将基于时间延迟的拓扑算法和基于节点交换的算法结合起来,从构建拓扑结构和维护拓扑结构两个方面进行优化,提出一种协议无关的结构化 P2P 算法。

2 基本思想

本算法的思想是:考虑界标节点用于自适应拓扑匹配算法,再结合 IP 地址分配策略来构建初始覆盖网拓扑结构;提出一种控制节点交换次数的方法,用事

件触发式节点交换算法维护拓扑结构。

2.1 初始拓扑结构的构建

此部分将基于时间延迟的三种拓扑匹配算法相结合,具体实施算法如下:

第一步:将界标节点思想用于自适应拓扑匹配算法。首先将结构化 P2P 网络在地图上进行分区并编号,区域地理位置相近的编号也相近;划分若干个区域后,每个区域中选择 K 个合适的节点(经常在线、性能较为强大的节点)作为区域界标点,其中一个为主界标点,其他为候选界标点。当主界标点失效,则从候选界标点中选择一个作为主界标点,并添加一个候选界标点;当候选界标点失效,则直接添加一个候选界标点。

当有新节点加入时,测出节点到各个区域主界标节点和候选界标节点的平均 RTT;对平均 RTT 值排序,选择最小平均 RTT 值的区域跳入。这种方法虽然避免了自适应拓扑匹配算法中 TTL-k 探测信息探测到的点均在同一区域,从而很大程度上避免了节点落入同一区域,但是仍未能完全避免。由于节点路由表存储的信息是有限的,发生上述情况时会出现大量邻近节点的信息相同。针对这种可能,下一步采用精确定位。

第二步:由于 IP 地址相近的节点地理位置也相近,它在较大程度上可以反应出节点间的相邻关系,所以将节点 IP 地址作为进一步精确定位节点的参数,找出节点的邻居节点。

将界标节点用于自适应拓扑匹配算法,并与 IP 地址分配策略相结合,不仅汲取了自适应拓扑匹配算法的简单高效,而且避免了自适应拓扑匹配算法中所有节点落入同一区的最坏情况。初始拓扑结构的构建流程如图 1 所示。

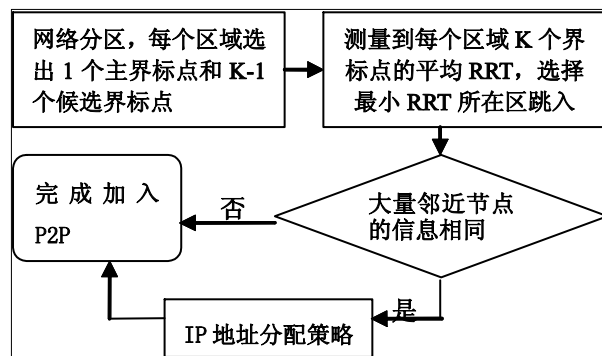


图 1 构建初始拓扑结构流程

2.2 拓扑结构的维护

前面考虑了节点加入时网络拓扑结构的构建,在动态性较高的网络中初始拓扑结构构建成功后往往会有节点加入、离开或失效等情况,因此还要继续对拓扑结构进行调整和优化。文献[8]提出了一种通用的、协议无关的拓扑匹配优化算法——基于节点交换的拓扑匹配优化,基本思想是:通过周期性地调整节点标号(节点之间交换标号)的方法优化拓扑结构,这种方法可以保证网络结构不变。但是,如果节点标号的改变开销过大,则会影响网络拓扑结构优化的性能。本算法通过控制节点交换的次数来控制网络开销,对算法进行改进。

2.2.1 节点交换的基本思想

DHT 网络是在物理网络的基础上构建的应用层覆盖网络。用一致性哈希函数(consistent hashing function)将数据和节点都均匀地映射到键值空间(key space)内,键值为 n 的数据存放在标号也为 n 的节点上,如果该节点不存在,数据就存放在该节点的后继节点或最靠近的节点上。DHT 使用标号方便管理一个较大系统,但由于映射是随机的,这样构建的覆盖网络无法与物理网络相匹配。图 2 显示了一个由 4 个节点构成的物理网络。其中,节点之间的数字表示了两节点之间的时延。图 3 为对应的两种覆盖网络,圆周代表了整个标号空间,用虚线表示节点之间的逻辑连接。假设覆盖网络上邻居节点之间的距离是它们之间的最短路径的长度。例如图 3(a)中 $A \rightarrow D$ 的距离以图 2 中 $A \rightarrow B \rightarrow D$ 来计算,等于 12。为了说明图 2(a)的覆盖网络是失配的,我们假设有一个查询从节点 A 到节点 C 。它的时延是 10($A \rightarrow B \rightarrow C$)或者 23($A \rightarrow D \rightarrow C$),都远大于物理网络中的时延 3。出现这种情况的根本原因是每个节点都与其标号捆绑在一起,当一个节点加入系统时,它在覆盖网络中的位置就不变了。节点交换的思想就是保证 DHT 有效性的前提下,使得节点标号可变。为此应该满足一下三个要求^[8]:(1)对节点标号的改变不应当改变 P2P 系统的结构。(2)对节点标号的改变不能是任意的。否则,系统将变得十分脆弱,很容易被黑客利用。(3)节点标号的改变带来的开销应该是可控的。

2.2.2 节点交换的条件

通常的节点交换控制方法是周期性探测,即每个节点每隔一定的时间做周期性的探测。但是,当整个

覆盖网络已经趋于稳定时,这种周期性的探测就变得耗时且意义不大。如果一个节点的邻居一段时间 ΔT 内更换频繁,本算法就认为需要进行网络拓扑结构的更新和优化。具体算法如下:(1)若一个周期 ΔT 时间内,有大于或者等于 N 个节点加入、离开或失效,则进行节点的交换和探测;(2)若 ΔT 时间内,加入、离开或失效的节点小于 N ,则不用进行探测和交换。这种算法避免了网络趋于平稳时(此时 N 较小或等于零)频繁探测带来的网络的开销。

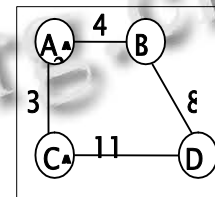
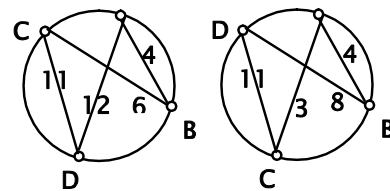


图 2 由 4 个节点组成的物理网络



(a)失配的覆盖网 (b)交换后的覆盖网

图 3 覆盖网络

2.2.3 交换操作

在构建初始拓扑结构时,系统中每个节点 u 已获取它的所有邻居节点的地址列表和初始的局部时延信息(与它的所有邻居的时延之和);然后,满足上述节点交换的条件,节点 u 就探测一个随机节点 v ,探测消息中包括 TTL 字段。开始时,设置 $TTL = k$,每经过一个节点, $TTL - 1$ 。当 $TTL = 0$ 时,节点 v 被选中之后,节点 u 和 v 交换它们的地址列表和初始信息。然后两节点分别计算交换后的局部时延信息。如果两节点交换后总体延时时间缩短,则 u 和 v 交换节点的标号和路由表信息,并通知自己的邻居节点更改路由表,以及重新计算初始的局部时延信息。否则不交换两节点信息。如图 2、3 所示,节点交换后的覆盖网络与物理网络相匹配。图 4 为维护拓扑结构流程。

3 性能分析

实验使用 GT-ITM 拓扑生成器,选择 Chord 作为平台,对 600 个节点组成的网络进行了模拟仿真。以

stretch 作为衡量覆盖网络和物理网络匹配程度的标准, stretch 越小两者越匹配。图 5 显示了一般周期性节点交换算法和本算法中时间间隔 ΔT 分别被设置为 1 分钟、3 分钟、5 分钟时 stretch 随着时间发生变化。图 6 显示了单纯地周期性节点交换算法和本算法的网络消耗比较, 这里的网络消耗主要指探测次数和节点交换次数, 纵坐标表示两者累积次数之和, 值越小网络消耗越小。实验证明, 本算法具有更好的拓扑匹配, 并节省了网络消耗。

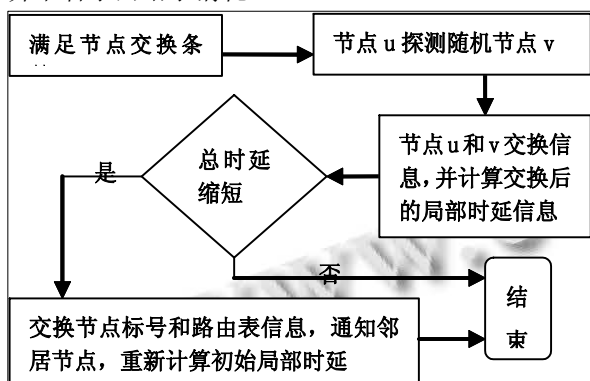


图 4 维护拓扑结构流程

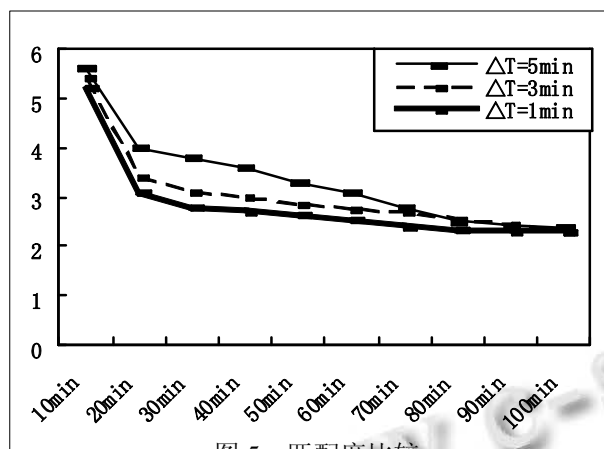


图 5 匹配度比较

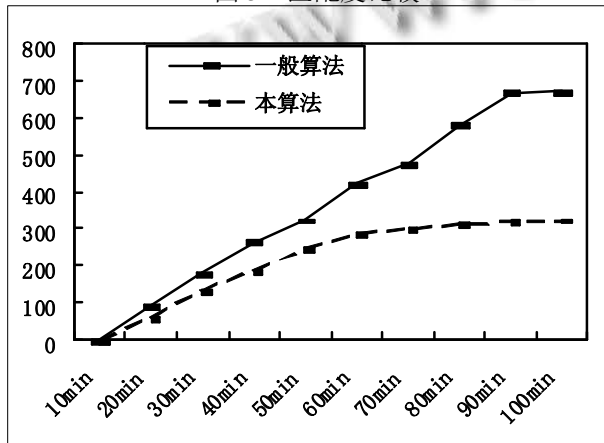


图 6 网络消耗比较

4 结语

本文提出一种协议无关的算法分别从初始拓扑结构的构建和维护两方面进行优化, 还通过控制节点交换次数来降低网络开销的方法。模拟实验表明, 它在一定程度上解决覆盖网络和物理网络失配的问题, 并且具有更小的网络开销。当然, 本算法还存在一些问题, 譬如没有考虑节点的异构性, 节点的内容交换等问题, 笔者在今后的工作将加以解决。

参考文献

- 1 王丽莉,孙波,肖永康,朱小明.基于兴趣挖掘的非结构化P2P搜索机制.计算机应用研究, 2009,26 (10):3621-3624.
- 2 方芳,陈世平.一种基于结构化 P2P 网络的拓扑匹配算法.计算机应用研究, 2011,28(1):220-222.
- 3 RATNASAMY S, HANDILY M,KARP R, et al. Topologically-aware overlay construction and server selection // Proc. of the 21st Annual Joint Conference on Computer and Communications Societies 2002:129.
- 4 REN Shun-si, GUO Lei, J IANG Song, et al. SAT-match: a self-adaptive topology matching method to achieve low lookup latency in structured P2P overlay networks //Proc. of the 18th International Symposium on Parallel and Distributed Processing 2004:26-30.
- 5 ZHU Dan, XU Xiang-yang, LIANG Yan, et al. Research on overlay network topology-matching. Microcomputer Applications, 2008,29(6):18-20.
- 6 ZHANG Xiao-ming. Research of data location and data replication in hierarchical P2P systems. Changsha:National University of Defense Technology, 2006.
- 7 连淑娟,孙波,魏云刚. 结构化 P2P 网络拓扑匹配技术综述. 计算机应用研究, 2009,26(8):2807-2809.
- 8 邱彤庆,陈贵海.一种令 P2P 覆盖网络拓扑相关的通用方法].软件学报, 2007,18(2):381-390.