

层次化移动 P2P 覆盖网络模型的研究与设计^①

Research and Design of Hierarchical Mobile P2P Overlay Model

朱 英¹ 黄文明¹ 蔡 洋¹ 雷领红²

(1. 桂林电子科技大学 计算机与控制学院, 2. 桂林电子科技大学 信息科技学院 广西 桂林 541004)

摘要: 随着 P2P 技术的迅猛发展、需求与应用的不断拓展、用户数量的急剧增加以及交互方式的日益多样化, P2P 系统开始具有高度动态性和复杂性的特征, 成为一个典型的复杂网络, 其网络拓扑已被证实具有复杂网络的诸多特性。本文从拓扑特征的角度出发, 基于复杂网络理论提出了移动 P2P 覆盖网络模型, 将节点按其性能分为稳定节点和移动节点两大类, 将稳定节点通过结构化覆盖网络组成可扩展的广域 P2P 社区, 将移动节点通过非结构化覆盖网络组成局域网。这种层次化的覆盖网络避免了剧烈的网络波动, 适应了实际网络的动态性变化。仿真结果表明, 该模型有较短的平均查询耗时, 并可以根据带宽情况调节路由查询的参数, 从而获得适当的路由效率。

关键词: 分布式哈希表 覆盖网络 复杂网络 幂律分布 小世界

近年来, P2P 系统在数据共享方面的应用非常广泛。P2P 系统把数据共享的主要费用分散到网络中的每个节点, 它可以很方便地进行系统扩展而不必过多地担心对性能强大的、昂贵的服务器的需求。除了能够把系统中的节点组织起来, 聚集成巨大的可利用的资源外, 现在的 P2P 系统还具有自组织、负载均衡、自适应性强和容错性好等优点。

1 引言

在 2G、3G 等移动蜂窝网络中开展 P2P 业务听起来非常诱人, 因为全球的蜂窝网用户超过 20 亿, 这是一个极其庞大的用户群体。P2P 在固定 IP 网络所取得的巨大成就以及随着新一代无线通信技术如 MIMO、OFDM、软件无线电等的广泛采用, 新兴的 3G、WLAN、WiMax 等无线通信技术能够在技术上支持 P2P 的应用, 通信网络的全 IP 化促使运营商开始对移动 P2P 业务产生了兴趣。国内外大量的研究机构正在从事移动 P2P 方面的研究^[1], 国内有浙江大学、上海交通大学、香港科技大学以及台湾国立成功大学等。国外有美国 UC Berkeley、英国 University of Cambridge Computer

Laboratory 和德国的 University of Würzburg 等等。Nokia、IBM、法国的 Apeera 等公司也投入大量人力和物力来研究这个课题。

2 移动 P2P 体系结构

移动 P2P 体系结构为 PC 机、移动手机、家用电器等设备在移动网络和家庭网络及因特网之间搭建一个无缝通信网络环境。如图 1 所示, 此平台包括 P2P 节点管理和 P2P 会话管理, 以及为 P2P 应用程序开发提供的 API 中间件等。

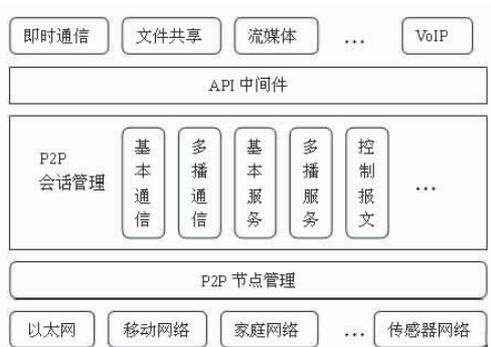


图 1 移动 P2P 系统通用设计平台

^① 基金项目 广西教育厅项目(2004(20)) 桂林电子科技大学 06 年度学科软环境项目。

P2P 节点管理层主要负责 P2P 系统的拓扑结构及节点间的路由信息,处理不同网络接口的互连及路由功能。节点管理层之上的 P2P 会话管理层提供各种 P2P 通信协议,如 P2P 多播、广播等协议。这些协议的功能就是建立 P2P 节点之间的邻接关系,构建 P2P 覆盖网络,为 P2P 多播创建路由分发树等等。在节点管理层和会话管理层的基础上,可以构建上层的应用服务 API 中间层根据下层协议提供在实现 P2P 应用程序所需的接口,为应用开发提供良好平台。该平台具有支持多种传输网络的特性,给出了移动 P2P 系统的业务实现框架。

3 层次化覆盖网络模型的设计

研究表明^[2],Internet 和万维网等复杂网络中,节点的度值 K 相对于它的概率 $P(K)$ 满足幂律关系,且幂指数多位于 2 和 3 之间,这类网络的节点连接度没有明显的特征长度,故称为无标度网络。本文提出的层次化移动 P2P 网络模型中,根据节点能力的异构性将其映射到相应的层次结构上,从而实现资源的高效配置和利用。把节点分为如下两类。

稳定节点:能力一般的节点,如 PC 机,但是在网络中相对较稳定,将其作为主干 P2P 网络的构成节点,具有全局网络内的资源定位能力。

移动节点:运算能力和网络能力均较弱,在线状态不稳定,将此类节点组成下层局域网络,需要访问上层主干网络时由上层节点代为完成。

为了构建具有良好扩展性的广域 P2P 社区,本文将稳定节点置于上层主干网络,以结构化 P2P 覆盖网络组织,如图 2 所示。对于位于下层的移动节点,考虑到移动网络的灵活特性,且移动 P2P 通信多用于个人网络和区域性的自组网,规模和范围都不大,将其组建为非结构化 P2P 网络。这个集结构化网络和非结构化网络于一体的层次化 P2P 覆盖网络,可以称其为混合 P2P 覆盖网络。

由于将结构化覆盖网络用于构建广域范围内的 P2P 社区,用非结构化覆盖网络将移动节点组成下层的无线局域网络,而不同局域网内的移动节点要相互通信,需要通过上层的广域网转发消息。所以在结构化网络和非结构化网络之间需要有一个网关节点同时支持两种协议,并且能够将消息从其中一种网络转发

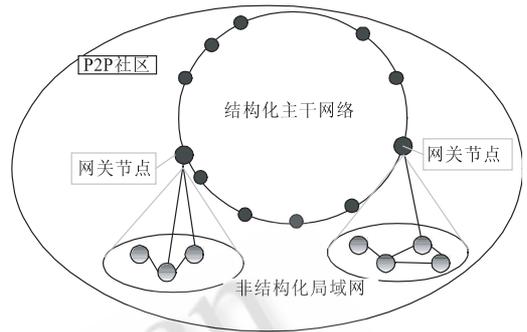


图 2 层次化移动 P2P 覆盖网络模型

到另一种网络中去。网关节点需要完成以下几个主要功能:

其一,分别在下层非结构化局域网中和上层结构化广域网中完成同一层次内节点的查询与转发信息。

其二,完成不同层次之间节点与节点的协议转换和消息转发。

其三,将自身所在的下层局域网中的所有移动节点共享信息聚集后,作为本节点内容发布到广域主干网络上;当下层移动节点在局域网络中查询失败时,向主干网络转发请求。

3.1 主干网 P2P 协议设计

本文利用复杂网络理论新中的研究成果对基于 DHT 的 chord 模型^[3]加以改造,使其具有自适应性,能够随物理拓扑的变化和资源分布及使用情况的变化,及时调整,优化路由,向更有利于上层通信的语义聚类社区演化,其逻辑结构如图 3 所示。

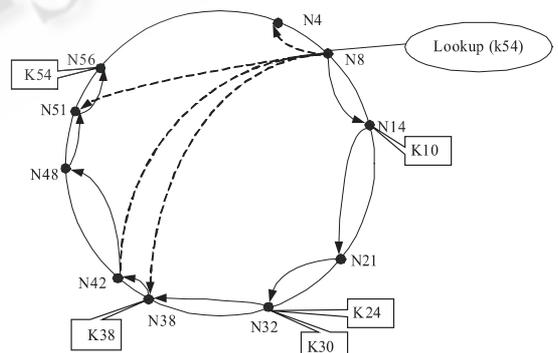


图 3 改进 chord 模型的逻辑结构

本文利用 BA 模型^[4]的增长和优先连接来更新节点的连接度,考虑节点的连接度水平和物理邻接关系两个方面的因素来评价一个节点的可用性,以此作为

优先连接的评价测度。连接度水平反映该节点转发查询消息的能力和使用的频繁度,物理邻接关系反映了该节点的物理拓扑信息,有利于查询短链的发现。这二者的综合比原来的 BA 模型更完善,对评价测度的值我们用 A 来表示,按下式计算获得:

$$A = a \frac{k}{\sum_j k_j} + (1 - a) \frac{r}{\sum_j r_j} \quad (1)$$

其中 k 表示节点的连接度, r 表示节点的物理邻接程度, $0 \leq a \leq 1$ 为连接度的权重因子,是一个可调参数,表示连接度 k 的权重, a 则表示邻接度 r 的权重。a 越大,意味着更倾向于连接到当前连接度高、消息处理能力强的节点上;a 越小 (1-a) 则越大,意味着更倾向于连接到物理临近的节点上。在每次查询成功后,对做出贡献的节点计算其可用性值,加入到相应的指针集合中。

图 3 中节点 8 的虚连接线表示根据节点的可用性扩展的路由链,为充分利用这些路由信息,算法在进行顺序递进的单线查询时,同步触发少量的并行查询。当路由表的指针集中有多条选项时,就触发并行查询,否则按 chord 环顺序单向逼近目标。本文在查询过程中对并行路由由消息转发的广度和深度进行双重控制:一方面通过对路由表中的指针集合的元素数目 B 的限制,它限制了并发查询的广度;另一方面对并发查询的深度进行了 T 次转发限制。

3.2 子网 P2P 协议设计

在本文设计的移动 P2P 子网中,移动节点主要是类似手机的设备,其处理能力大都较低。所以子网采用非结构化覆盖网络组织。如果在一个局域网内没有 SGSN 这样的网关节点连入主干网,则需要在局域网内选举产生一个能力较强的节点充当网关节点。与上文的节点可用性评价类似,这里也需要一个节点能力评价函数,不同的是这里考虑更多方面的因素。

考虑到综合性能包括许多方面,比如计算机的 CPU 计算能力、主存的物理大小、网络的带宽、活动时间等,我们提出如下模型来计算节点综合性能:

$$C = \omega f(B, T, U, M) \quad (2)$$

其中 C 就是我们要得到的综合性能指标的量化值, ω 是常数, B 表示带宽, T_a 表示活动时间, U 表示计算能力, M 表示存储能力。f(B, T, U, M) 根据节点各方面的性能进行计算以得出一个数值,这个数值越大则

表示综合性能越高。

当某个节点在成为网关节点时,应在子网内选出综合性能最高的移动节点作为它的后备网关节点。选出的后备网关节点记录在网关节点上,当子网内的任何一个移动节点向网关节点发消息时就得到后备网关节点信息。后备网关节点将从网关节点处获得主干网节点的路由表信息,并且在网关节点更新自己信息的时候也更新这些信息。

4 实验分析

本实验采用 MIT 的 Jinyang Li 等人提出的 PVC 性价比框架^[5]来评价模型的好坏,分析了平均查询延时与占用带宽的关系。在本算法中,并行查询毫无疑问的带来了带宽消耗。这里重点考察算法中参数 B、T 对路由表的扩展和路由消息的并发所带来的带宽消耗代价。实验中设置如下三个场景:Test1 中 B=3, T=6; Test2 中 B=3, T=10; Test3 中 B=5, T=10。这里不考虑参数 a 的差异,它对网络带宽消耗没有直接影响,其值设定为 0.5。

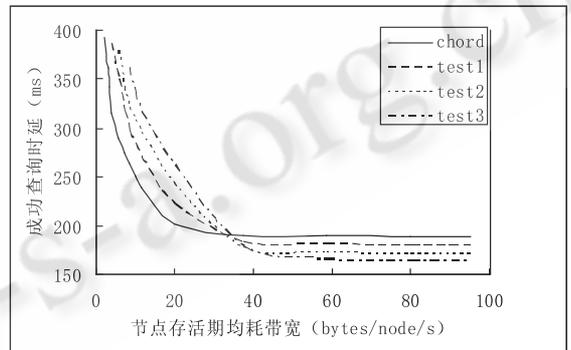


图 4 成功查询延时与带宽耗用的凸壳线

从图 4 中的结果可以发现,随着参数 B、T 的变大,三种情况下平均查询延时与耗用带宽的凸壳线都在 chord 的右方,并且逐渐向右方移动,说明模型的带宽消耗逐渐增大。同时, test1 的曲线在节点均耗带宽为 33 bytes/node/s 处下穿 chord 凸壳线之后,该模型能够获得比 chord 更低的查询延时。同样 test2 的曲线在逐渐向右移动的同时,在节点均耗带宽为 36 bytes/node/s 处下穿 test1 的曲线,获得了比 test1 更低的查询延时。

说明当 B、T 进一步变大的时候,网络带宽消耗会

增大,但此时查询性能也有一定程度的提高。这说明可以通过适当选择 β 、 τ 的参数从而以一定的带宽代价换取短链的发现和较低的查询延时。但是盲目扩大带宽消耗并不一定能有效地降低查询延时。实验中可以发现, $test3$ 相对于 $test2$ 增加的带宽和 $test2$ 相对于 $test1$ 增加的带宽幅度是一样大的,但是并没有获得同样幅度的降低时延。

5 总结

由上述两种不同类型 $p2p$ 算法构成的层次化移动 $p2p$ 覆盖网络模型是基于复杂网络理论得出的关于幂律分布规律和小世界模型的构造方法设计完成的。打破了传统 $p2p$ 算法在物理拓扑和覆盖网络之间的对立,本文的算法一方面是结构化的非自然网络,一方面不断根据物理信息和资源分布及使用情况调整网络拓扑结构,使其具备小世界特性和语义社区特性的可能性增大,并且能够适应实际网络的高度动态性。

参考文献

- 1 牛新征,余堃,路纲,周明天. 移动 P2P 计算研究进展. 计算机应用研究,2007,24(5):269-273.
- 2 Newman M E J. The structure and function of complex networks. SIAM Review, 2003,45(2):167-256.
- 3 Stoica I, Morris R, Karger D, Kaashoek F, Balakrishnan H. Chord: A scalable peer-to-peer lookup service or internet applications. ACM SIGCOMM,2001,31(4):149-160.
- 4 Barabasi AL, Albert R. Emergence of scaling in random networks. Science,1999,286(15):509-512.
- 5 Li J, Stribling J, Morris R, Frans Kaashoek M and Thomer M. Gil, et al. A performance vs. cost framework for evaluating DHT design tradeoffs under churn. Proceedings of the 24th IEEE Infocom, 2005, 1: 225-236.