

基于主动网络的分布式 P2P 网络模型*

黄道颖^{1,2+}, 黄建华¹, 庄雷¹, 李祖鹏¹

¹(解放军信息工程大学 国家数字交换系统工程技术研究中心,河南 郑州 450002)

²(郑州轻工业学院 计算机科学与工程系,河南 郑州 450002)

A Distributed P2P Network Model Based on Active Network

HUANG Dao-Ying^{1,2+}, HUANG Jian-Hua¹, ZHUANG Lei¹, LI Zu-Peng¹

¹(National Digital Switching System Engineering and Technological R&D Center, PLA University of Information Engineering, Zhengzhou 450002, China)

²(Department of Computer Science and Engineering, Zhengzhou Institute of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-371-3556837, Fax: +86-371-3941700, E-mail: dyhuang@zzuli.edu.cn, http://cs.zzuli.edu.cn

Received 2003-04-29; Accepted 2004-02-03

Huang DY, Huang JH, Zhuang L, Li ZP. A distributed P2P network model based on active network. *Journal of Software*, 2004,15(7):1081~1089.

<http://www.jos.org.cn/1000-9825/15/1081.htm>

Abstract: Gnutella protocol simply uses flooding algorithm to route peer's querying, so it has the poor scalability problem. For not using down-layer's routing information of Internet, it also has the common problem that its querying routing is just implemented on application layer, and its efficiency is low. The distributions of topology nodes in Gnutella and Internet are reviewed, and they not only exhibit power law and small world properties, but also have the near power-coefficient t . A new distributed peer-to-peer network model based on active network technology (active distributed peer-to-peer network, ADP2PN) is proposed, and its prototype system is implemented. Simulation results about ADP2PN's prototype architecture and querying routing algorithm show that it could effectively resolve the above problems, so the model is reasonable and valid.

Key words: P2P network; active network; power law; small world; maximum clustering-coefficient first algorithm

摘要: 分布式 P2P 网络 Gnutella 模型的对等机共享信息查询的搜索、定位路由协议仅使用“洪泛”算法,因此存在可扩展性问题。同时,由于其协议机制仅在教育层实现,缺乏对 Internet 底层通信子网路由资源的利用,存在性能与效率不高的问题。为了解决上述问题,考察了 Gnutella 网络和 Internet 网络节点的拓扑分布规律,二者不仅均呈现幂律规律(power law)和小世界(small world)特征,而且其幂系数 t 非常近似。提出了一个基于主动网络技术

* Supported by the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2001AA111141 (国家高技术研究发展计划(863)); the Aid Project for the Leading Young Teachers in Henan Provincial Institutions of Higher Education of China (河南省高校青年骨干教师资助计划项目)

作者简介: 黄道颖(1967—),男,河南信阳人,博士生,副教授,主要研究领域为计算机网络体系结构,分布式计算系统;黄建华(1961—),男,教授,博士生导师,主要研究领域为计算机网络技术,分布式计算系统;庄雷(1963—),女,博士生,教授,主要研究领域为计算机软件与理论;李祖鹏(1976—),男,博士生,讲师,主要研究领域为计算机网络技术。

的分布式 P2P 网络(active distributed peer-to-peer network,简称 ADP2PN)模型,并实现了其原型系统.通过对原型系统体系结构和信息查询的路由协议算法的模拟与分析表明,ADP2PN 模型可以解决上述可扩展性以及性能与效率所存在的问题,模型是合理而有效的.

关键词: 对等网络;主动网络;幂规律;小世界;最大聚集度优先算法

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

在研究纯分布式 P2P 网络 Gnutella 体系结构的过程中,我们发现 Gnutella 网络拓扑节点的分布不仅呈现典型的幂规律^[1],而且还具有明显的小世界特征^[1].同时,进一步深入研究后发现,Gnutella 网络模型呈现出来的幂规律,与 Internet 骨干网络节点的拓扑分布规律非常类似,而且,前者的幂指数 $\tau \approx 2.3$ ^[1],后者的 $\tau \approx 2.2$ ^[2],近似相等.而 Gnutella 网络模型的核心就是对等机的搜索、定位路由机制,若只是在应用层的高层实现,而没有利用原来网络层的路由资源,则性能、效率必然不高,不能从根本上解决 P2P 网络模型面临的一系列问题.基于以上原因,我们提出了一个新的基于主动网络技术的分布式 P2P 网络模型(active distributed peer-to-peer network,简称 ADP2PN),将原来的 Gnutella 网络模型层次化,并与主动网络技术结合起来.在新的网络模型中,将原来骨干网络中的路由交换节点扩展成主动节点(active network node,简称 ANN),并作为模型的簇(cluster)节点,所有的对等机节点在加入该网络时,总是找离自己最近的那个主动节点,并将自己加入到该簇节点中,这样将充分利用原 Internet 网络路由节点的拓扑结构,形成自然的小世界和幂规律特性.利用这一特性,该网络模型中对等机的定位与搜索将主要通过主动簇节点(active network cluster node,简称 ANCN)进行.由于可以充分利用主动节点的路由表信息,使得查询定位不再以扩散方式盲目进行,因而从根本上改善了定位搜索效率和网络的可扩展性.

1 主动分布式 P2P 网络模型(ADP2PN)体系结构

1.1 模型的假定

在进一步讨论 ADP2PN 模型之前,先对网络环境作些假定:每个自治系统(autonomous system,简称 AS)都有一个 SNMP(simple network management protocol)网管,可以获得自治域内的静态拓扑结构;我们假定自治系统中的路由器以及 Internet 骨干网络节点上的路由器能够运行 Java 虚拟机,因此具有足够的灵活性使客户可加载业务,可以配置主动节点^[3,4],运行基于 Java 的主动簇节点处理,这使得我们可以获取动态网络拓扑和链路状态、定位搜索对等机信息、进行相关路由查找.

以上的假定在当今的 Internet 网络世界是可以成立的.

1.2 基本概念

1.2.1 主动对等机

在主动分布式 P2P 网络模型(ADP2PN)中,每一个联入该 P2P 网络的计算机均采用主动网络技术,既是客户机,同时又是服务器,每个节点既充当服务器,为其他节点提供服务,同时也充当客户机,享用其他节点提供的服务.因此,被称为主动对等机(active servent,active server-client).

1.2.2 幂规律

一个随机无向图由若干个节点及若干两两节点间的边组成.某个节点的“度”即是到达该节点的边的个数.最近的研究表明^[1,2,5],许多现实网络,如 Internet 骨干、WWW 页面链接、人们的社会关系网络等,其节点“度”的分布都具有同样的规律,即“度”为 K 的节点的分布概率满足以下公式: $P(k) \propto k^{-\tau}$,其中, $1 < \tau < \infty$,随网络的不同而不同.

Internet 骨干网络的 $\tau \approx 2.2$,Gnutella 网络的 $\tau \approx 2.3$,WWW 页面链接网络的 $\tau \approx 2.1$,而美国西部电力网络网络的 $\tau \approx 4$.其中前三者的幂规律特性非常近似.Power Law 分布的含义可以简单解释为在网络中少数节点有较高的“度”,多数节点的“度”较低.“度”较高的节点与其他节点的联系比较多,通过它找到待查信息的概率较高.

1.2.3 小世界特性

为了说明什么是小世界特性^[6],我们给出以下定义:

定义 1(聚集度 $C(l)$). 已知以顶点 v 为根的深度为 l 的 BFS(breadth first search)树,则该顶点的横向边的数目为 C_v ;满足以下关系: $\text{Max}(C_v)=C_k^2-(k-1)$, k 为 BFS 树的所有顶点,则一个图的聚集度为其所有顶点 v 的 C_v 值的平均值,即 $C(l)=\text{Average}(C_v)$.

定义 2(特征路径长 L). 已知一个无向图 G ,任意两节点 (u,v) 间最短路径的边数为 $\text{Num}(u,v)$,则其特征路径长 L 为 $L=\text{Average}[\text{Num}(u,v)]$;某网络的特征路径长 L 定义为所有任意两节点间最短路径的边数的平均值.

定义 3(小世界特性). 网络拓扑具有高聚集度而低特征路径长的特性.

在符合小世界特性的网络模型中,可以根据节点的聚集度将节点划分为若干个 cluster,在每个 cluster 中有一个顶点度最高的节点为中心节点.

1.2.4 主动节点

参与 ADP2PN 网络构造的主动网络节点(active network node,简称 ANN)^[3],按照第 1.1 节的假定,它由路由器扩展而来.在 ADP2PN 模型原型系统实现中,我们采用了 MIT(Massachusetts Institute of Technology)基于 Java 的主动网络协议开发工具 ANTS^[4](active network tools kids).按照 ANTS 的主动节点概念,即可执行 ANTS 主动报文 Capsule 的网络节点.Capsule 可以传送数据,也可以传送程序代码.

1.2.5 主动 P2P 代理(active P2P daemon,简称 AP2PD)

实现 ADP2PN 网络协议代理模块,目的是获得动态网络拓扑信息、建立与上级中心节点的簇连接,运行模型的 P2P 网络路由查找算法,实现主动分布式 P2P 网络对等机查询信息的定位与搜索.

1.3 ADP2PN模型体系结构

ADP2PN 模型的体系结构如图 1 所示.按照第 1.1 节的假定,模型中的路由器均扩展为主动节点,并给所述的主动节点配置主动代码,以形成主动对等网络代理,将所述主动节点作为对等网络的簇节点;对于离散式主动节点,所述主动对等网络代理可以通过在主动节点上装载主动代码集来实现;对于集成式主动节点,所述主动对等网络代理可以通过将主动分布式对等网络协议代理程序作为主动代码加载到主动包中,并将主动包分布到各主动节点来实现.由于 Internet 的多级层次结构,即分为自治系统和自治系统间的骨干连接两个大的层次,自治系统内部路由器节点又分为区域内节点和区域间干节点,因此,ADP2PN 模型也是多级层次化的.

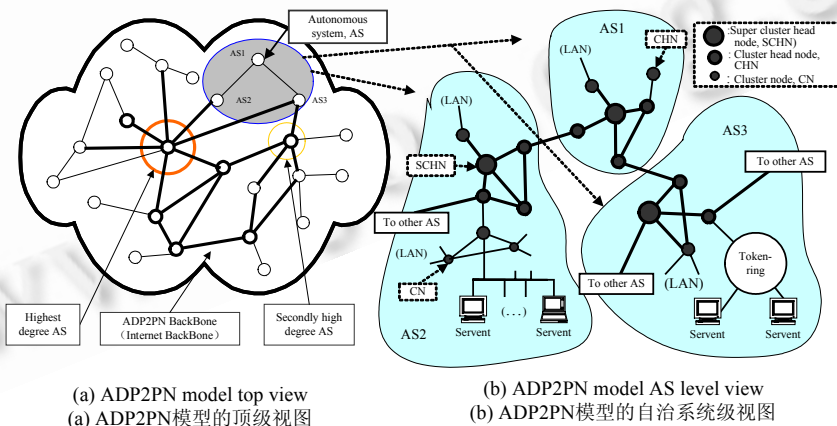


Fig.1 ADP2PN architecture

图 1 ADP2PN 模型的体系结构

一个自治系统内的主动路由器节点形成一个大的簇(super cluster),将 AS 域间骨干上的节点聚集度最高的主动路由器节点设为中心节点(super cluster head node,简称 SCHN),该节点通过自治系统的主动边界路由器与其他自治系统连接,构成 ADP2PN 模型的骨干.在自治系统内部,各 AS 区域组成了各个簇.簇中各节点由 AS 域内主动路由器构成,其中节点聚集度最高的节点成为簇中心节点.AS 域间骨干上的超级簇中心节点(SCHN)连

接了各个 AS 域的簇中心节点(cluster head node,简称 CHN),各个 AS 域的簇中心节点(CHN)又连接了域内的各个簇节点(cluster node,简称 CN).所有的对等机节点在加入该网络时,预先配置自己的默认主动网关,以加入到离自己最近的主动簇节点.

主动对等机向主动节点发出定位、路由查询请求是通过主动包来实现的.针对不同的主动节点实现方式,主动包可以采用 ANTS 的封装体模式或主动包插件方式.P2P 查询主动包可以在主动节点的 P2P 协议代理的控制下在主动网络中移动,途经的每一个主动节点提供相应的 P2P 执行环境对其进行分析、解释和执行,以实现查询信息以及对等机节点的定位与搜索.

2 路由查找协议

在 ADP2PN 网络模型中,由于各个主动对等机是聚集在各个主动簇节点上的,因此该网络模型中对等机查询信息的定位与搜索将通过主动簇节点进行.其路由查找协议可描述如下:

(1) 可以将各主动簇节点与聚集在其周围的主动对等机抽象为一个统一的“共享信息对等节点”,与其他主动簇节点又组成了对等连接关系.在该“共享信息对等节点”内需要保存两个共享信息文件索引的列表,一个记录本“共享信息对等节点”内的主动对等机的共享信息文件索引,称为“本地共享信息文件索引”,保存在主动簇节点自己的缓存及关键主动对等机中;另一个记录与本“共享信息对等节点”相邻的“共享信息对等节点”的共享信息文件索引,称为“相邻共享信息文件索引”,可以保存在主动簇节点根据处理能力、网络带宽高低而挑选出的一些高能力、高网络带宽的主动对等机(称为关键主动对等机)中.

(2) 当一个主动对等机加入离自己最近的主动“簇”节点时,将自己的共享信息文件的索引(另外包括自己的 IP 地址、端口及自己的网络接口带宽、处理能力)发送给该节点,该主动“簇”节点将其添加到自己的“本地共享信息文件索引”列表中,并将该刷新表项发送到“共享信息对等节点”内的关键主动对等机,以备当主动簇节点缓存失效时,“本地共享信息文件索引”列表不会丢失.同时,向自己的邻居主动簇节点发送该刷新表项.

(3) 每隔一个时间周期(为本 ADP2PN 网络的查询命令主动包的 TTL 域值),相邻主动簇节点间互相交换本节点的“本地共享信息文件索引”列表,据此刷新自己的“相邻共享信息文件索引”列表.“相邻共享信息文件索引”列表的刷新是通过向“共享信息对等节点”内事先挑选出的“关键主动对等机”转发相应的刷新报文来实现的.网络启动一段时间后,在一群相邻的主动簇节点中聚集度最高的主动簇节点就会聚集与自己相邻的主动簇节点所具有的“本地共享信息文件索引”列表信息.

(4) 采用“最大聚集度优先(maximum clustering-coefficient first,简称 MCF)”^[7,8]算法进行对等机共享信息查询路由.

- 当一台主动对等机需要进行共享信息查询时,首先向其主动簇节点发出一个查询(query)主动包(包含有一个“被转发的途经节点标识列表”域),该节点首先查询“本地共享信息文件索引”和“相邻共享信息文件索引”.“相邻共享信息文件索引”查询通过向“共享信息对等节点”内的相应“关键主动对等机”转发该查询包来实现,“关键主动对等机”在收到查询包以后,查找对应的“相邻共享信息文件索引”列表,向其主动簇节点回送命中或未命中主动包,主动簇节点依据最先返回的响应包来判断本次查询命中与否.而对于“本地共享信息文件索引”查询,可以直接在本地缓存中进行.若命中,则响应一个查询命中包(QueryHit);否则,查询自己的路由表,找到其相邻主动簇节点中聚集度最高的簇节点.首先检查其“被转发的途经节点标识列表”域中是否有该节点,若没有,则将该查询包转发给它.若有,则说明查询已到过该节点,再按同样的方法寻找聚集度次高的节点,将该查询包转发给它.每个查询主动包均包含一个存活域(time to live,简称 TTL),每经过一个节点的转发,TTL 域值减 1.

- 当下一个主动簇节点在收到该查询包后,采用同样的方法,首先查询“本地共享信息文件索引”和“相邻共享信息文件索引”,若命中,则响应 QueryHit 包;否则,处理同上所述.

- 由于 Internet 路由节点的分布符合幂规律^[2],所以查询主动包经过若干步转发后,一定会到达簇中心节点.同样地,簇中心节点在收到该包后,仍然首先查询“本地共享信息文件索引”和“相邻共享信息文件索引”,若命中,则响应一个 QueryHit 包;否则,同样查找自己的路由表,找到其所在簇中相邻聚集度最高的簇中心节点,处理同上所述.

- 由于在一个自治系统内往往总是使用同样的 OSPF 路由协议,因此处于同一个自治系统中的簇中心节点可以知道该 AS 中谁的聚集度最高,每个簇节点也总能了解邻居中谁的聚集度最高.对于不使用 OSPF 路由协议的节点,可以通过 AS 中的 SNMP 管理节点了解同样的信息.

- 同样道理,查询主动包经过若干步簇中心节点转发后,一定会到达超级簇中心节点,接下来的处理与上述类似,仍然首先查询“本地共享信息文件索引”和“相邻共享信息文件索引”.若命中,则响应一个 QueryHit 包;否则,查找自己的路由表,找到其 AS 边界路由器节点,将该查询主动包转发给它.

- 当查询包到达 AS 边界时,由于 AS 间通过 BGP 协议交换路由信息,因此同样可以知道与本 AS 相邻的 AS 的聚集度,仍然可以使用同样的方法转发查询包.

- 重复该过程,直到查询主动包的 TTL 域值减为 0,或找到具有待查共享信息的主动对等机.一旦定位了响应其查询文件的对等机之后,就与响应对等机建立 TCP 连接,通过 HTTP 协议,从响应对等机中下载自己查询的文件.

- 为了进一步提高查询的效率,在返回查询命中包的过程中,接收到所述查询命中包的主动簇节点均沿原传送路径转发该包,可以将查询命中包中携带的命中资源信息索引添加到“相邻共享信息文件索引”列表,当再有相同查询请求包到来时就可以直接响应所述的查询请求,查询速度可以进一步提高.

3 ADP2PN 模型的原型系统

在 ADP2PN 模型原型系统实现过程中,采用了 MIT 基于 Java 的主动网络协议开发工具 ANTS.模拟了拓扑节点分布满足幂规律和小世界特征的具有 60 个主动节点的网络,主要实现了主动 P2P 协议代理,以及查询(query)和查询命中(QueryHit)主动包.

3.1 系统环境

原型系统的环境平台为 15 台 P4 微型机,256M 内存,Linux 操作系统为 RedHat8.0,主动结点操作系统采用的是 JnodeOs v1.2.0,执行环境(executing environment,简称 EE)采用了 JDK 1.3,ANTS 版本为 2.0.3.另外一台运行 Windows XP 系统的 PC 机,安装了 Sniffer4.5 用于抓包进行协议分析.16 台微机通过一台 16 口交换机组成一个独立的局域网.

3.2 系统拓扑

原型系统的拓扑结构如图 2 所示,拓扑结构通过 Internet 拓扑模拟工具 BRITE(Boston University Representative Internet Topology generator)产生,采用较为贴近 Internet 实际特征的 GLP(generalized linear preference)^[9]拓扑模型.节点拓扑分布满足幂规律和小世界特征.在第 4.2 节中,为了便于大规模节点下协议性能的模拟分析编程,模型的拓扑结构则采用了自己编程的方法产生.由于 15 台机器物理上是通过局域网互连在一起而非依照图中拓扑互连的,因此其拓扑连接关系是通过在主动节点中配置节点路由这种方式在逻辑上的模拟实现.拓扑图中的主动节点通过设置节点的路由表配置文件(Route.cfg)实现图中所示的节点拓扑连接.由于每台机器可以模拟运行多个 ANTS 主动节点,因此通过合理地配置 Route.cfg 文件,即可构造出图中 60 个节点的拓扑连接.限于篇幅,下面以 3 个独立节点为例,说明路由表 Route.cfg 文件的格式.源节点为 192.168.0.1,中间节点为 192.168.0.2,目的节点为 192.168.0.3,即源节点通过中间节点的转发才能到达目的节点,则其路由表见表 1.其中,addr 是路径中“下一站”的 IP 地址和 UDP 端口号.

Table 1 Routing table format in Route.cfg of active node

表1 主动节点路由表Route.cfg文件的格式

Source	Destination	Next	Addr.
192.168.0.1	192.168.0.2	192.168.0.2	192.168.0.2:8005
192.168.0.1	192.168.0.3	192.168.0.2	192.168.0.2:8005
192.168.0.2	192.168.0.1	192.168.0.1	192.168.0.1:8005
192.168.0.2	192.168.0.3	192.168.0.3	192.168.0.3:8005
192.168.0.3	192.168.0.1	192.168.0.2	192.168.0.2:8005
192.168.0.3	192.168.0.2	192.168.0.2	192.168.0.2:8005

由于是3个独立主动节点,所以其UDP端口号可以相同,若是在同一个机器上模拟运行多个ANTS主动节点,则每个节点的addr均为Localhost而端口号不能相同.

3.3 主动P2P代理(AP2PD)系统环境

实现ADP2PN网络协议代理,每个路由节点都运行AP2PD.在原型系统中,仅实现了关键功能,因此作了一定的简化,主要实现3个功能:

- (1) 通过主动节点的路由表获得动态网络拓扑信息,从而建立与上级高聚集度中心节点的“簇连接”.
- (2) 建立“本地共享信息文件索引”,周期性地与相邻主动节点交换该索引,并据此刷新自己的“相邻共享信息文件索引”.
- (3) 运行“最大聚集度优先”算法进行对等机共享信息查询路由,实现模型的主动对等机查询信息的定位与搜索.

AP2PD协议栈的结构如图3所示,限于篇幅,AP2PD的详细设计将另文给出.主动包Query的容器格式如图3所示,其中主动包Query中包括请求标识符、最小响应速度、源请求节点的IP地址端口、生命周期(TTL)域、被转发的途经节点标识列表域、请求查询的资源名.在系统进行测试时,查询主动包通过其中一台“度”较低的主动节点发出.

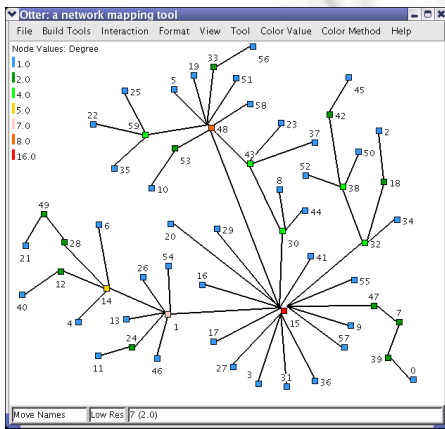
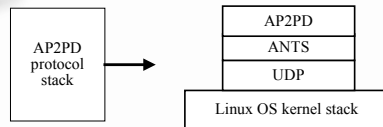


Fig.2 Network topology of AP2PN prototype
图2 AP2PN原型系统的网络拓扑结构



IP header		UDP header		ANEP header		ANTS header		Capsule payload	
Version (1)		Flags(0) (default forwarding)		TypeID(18) (for MIT's ID)		ANTS_VERSION(0x00020004) (ANTS version)		Query_ID	
Option_Type(1)		Option_Type(2)		Option_Type(3)		MethodID (16byte) (Encrypted by MD5)		Minimal Bandwidth	
Option Length (8) (unit = 32 bit)		Option Length (8) (unit = 32 bit)		Option Length (3) (unit = 32 bit)		Source address (192.168.0.1)		Source address: Port (source requesting node) (192.168.0.1.8005)	
(First) Scheme Identifier=1 (1=IPv4 address, 2 = IPv6, 3 = 802.3)		Target IP (192.168.0.3) (Option Payload, here is target IP)		Destination address (192.168.0.2)		TTL(6) (Query's ttl)		Visited node ID Length (unit=32 bit)	
(second) Scheme Identifier=1 (1=IPv4 address, 2 = IPv6, 3 = 802.3)		Source IP (192.168.0.3) (Option Payload, here is source IP)		Previous address (192.168.0.1) (if this capsule was sent to node which had no code to deal with it, the node would request to get the code by this address)		Visited node ID list (who has been forwarding)		File name being queried (it was 12 bytes length in prototype system)	
				TTL(8) (capsule's ttl to live value)				Capsule upper payload (data and code)	

Fig.3 AP2PD protocol stack and active Query capsule format
图3 AP2PD协议栈结构及主动Query包的格式

4 ADP2PN模型的分析

4.1 模型的合理性

有关研究已经证明,无论是在路由器级还是AS级,Internet拓扑结构均具有幂规律^[2]和小世界^[9]特性,而ADP2PN网络模型正是在此基础上,通过结合主动网络技术构建的分布式P2P网络.因此,该网络模型充分体现了幂规律和小世界特性.其路由查找协议正是利用了这一规律与特性,使用“最大聚集度优先”算法进行对等机共享信息查询路由,解决了原分布式P2P网络Gnutella模型由于采用扩散算法而导致的网络分片^[8]、网络规模不能进一步扩大的可扩展性问题.考察当今Internet网络路由节点可以发现一个规律,即节点的转发能力(处理速度、转发带宽)越强,经该节点转发的流量就越多,该节点也就越“著名”,因而其聚集度将越来越高.这也正是Internet网络拓扑呈现幂规律和小世界特性的重要原因.同样地,一个服务节点对外提供信息的能力,从带宽与通信流量的角度来说,依赖于其连接的通信子网的转发能力.即便一个服务节点对外宣称能够提供多么巨大的共享信息资源,但若其连接的通信子网节点的转发能力不足,则该节点也不能作为“高聚集度”节点.所以,对于P2P网络的未来发展来讲,与底层网络的处理能力的结合将是非常重要的原则,而当今的各种P2P网络模型^[10]

并未有效考虑这一点.我们提出的模型则充分利用了这一原则,因此,该模型更加合理.

同时,由于模型是建构在对现有路由器节点的主动化扩展基础上的,如果极大地影响了现有网络的路由性能,则模型也不能算是成功的.但值得注意的是,主动路由节点并非对所有到达的包都进行复杂的计算,而只是对 P2P(或其他业务)所要求处理的主动包进行计算,这样仍然能够保证路由器高速度、高效率地转发普通包,从而对现有网络的路由性能影响甚小.因此,模型的构建是合理的.

4.2 协议查找效率

在 ADP2PN 网络模型中,处理对等机共享信息查询操作的路由查找协议采用了“最大聚集度优先”算法.该算法在符合幂规律的随机网络中比采用其他随机路由查询算法更具有优越性.

“随机漫游(random walk,简称 RW)”路由算法是最常用的一种随机路由查询算法,其基本思想是,当查询包到达某一路由节点时,节点在其所有邻居节点中随机挑选一个,将查询包转发给该节点.我们正是以此算法为例,比较 MCF 算法与其性能的优劣,模拟结果如图 4 所示.

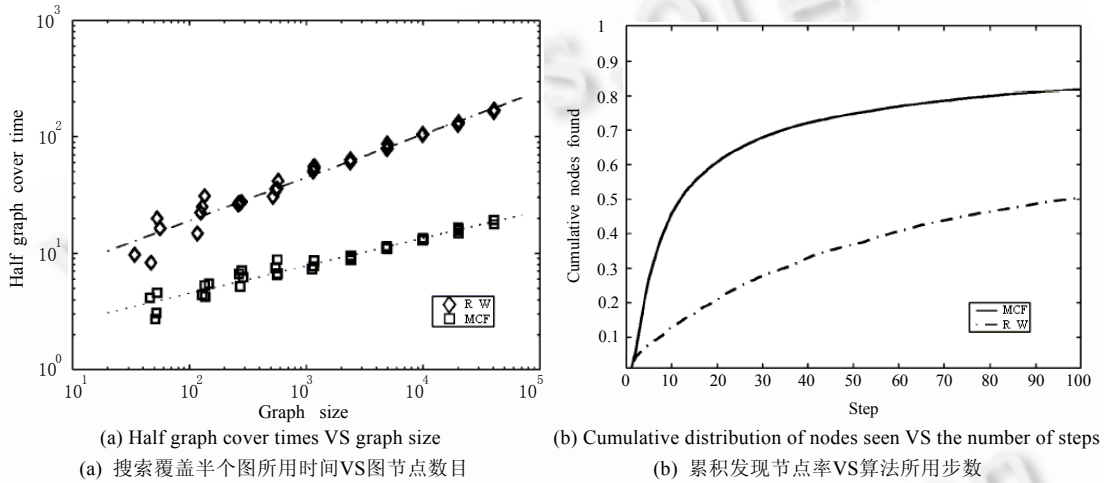


Fig.4
图4

为了便于大规模节点下协议性能的模拟分析编程,模型的拓扑结构采用了自己编程的方法产生.模拟产生的拓扑结构满足幂规律($\tau \approx 2.1$),其拓扑结构图文件为 P2Psim2.odf,利用 CAIDA(cooperative association for Internet data analysis)的可视化显示工具 Otter0.9 显示的拓扑结构如图 5 所示.

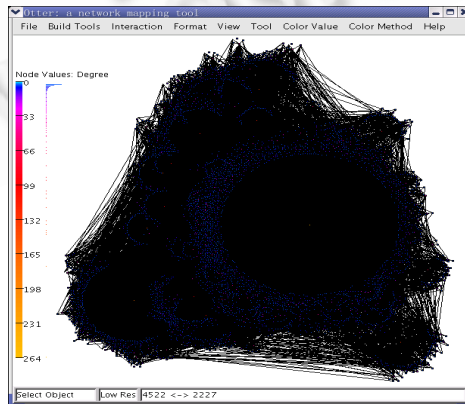


Fig.5 Network topology of AP2PN simulating with 10 000 nodes characterizing power law

图5 具有10 000个节点的节点分布满足幂规律的模拟网络拓扑结构图

模拟的节点规模为 10 000 个节点,在同样的拓扑结构下,从同样的初始节点出发,模拟程序分别实现了对查

询包的“随机漫游”路由算法和“最大聚集度优先”路由算法。图 4(a)、图 4(b)分别为两种查询搜寻算法的时间开销和搜索步数与效率的模拟结果。其中如图 4(a)所示为分别采用 RW 算法和 MCF 算法在不同节点规模条件下搜索覆盖半个图所用的时间;如图 4(b)所示为分别采用 MCF 算法和 RW 算法在同样 10 000 个节点的情况下,累积发现节点率 VS 算法所用步数。其中,累积发现节点率=累积发现节点/总节点数。

分析图 4(a)中的模拟结果可以发现,同样条件下,采用 MCF 算法搜索节点信息所用时间比采用 RW 算法要低。同时,随着网络节点规模的扩大,前者搜索时间开销的增长比后者要慢。从图 4(b)中的模拟结果可以看出,在网络具有 10 000 个节点的规模下,采用 MCF 算法搜索节点信息只需 10 步左右即可搜索将近一半的节点,而采用 RW 算法若要达到同样的效果则需至少 100 步以上。显然,在符合幂规律特性的随机网络中,MCF 路由查询算法更具有优越性。

其次,如第 4.1 节所述,由于 ADP2PN 网络模型节点拓扑具有幂规律,因此,其节点中少数节点有较高的“聚集度”,多数节点的“聚集度”较低。如果其节点不具有此规律,则其网络要么是连通度很高、很规则的“规则网络”,要么是连通度较低、节点度分布随机的普通“随机网络”,或是处于二者之间既不规则也不很随机的一般网络。因此,在进行查询搜索路由时,采用“最大聚集度优先”算法都不可能提高路由查找效率。因为对于“规则网络”来说,由于其节点的连通度很高,所以,不存在“最大聚集度”节点;而对于普通“随机网络”来讲,由于各节点的“聚集度”分布随机,因此也无法利用“最大聚集度”节点提高查找效率。而对于满足“幂规律”的随机网络来讲,网络中仅有少数节点有较高的“聚集度”,多数节点的“聚集度”较低,但“聚集度”较高的节点与其他节点的联系却比较多,通过它找到待查信息的概率较高。因此,采用“最大聚集度优先”的路由查找算法,在有限步转发查找包后,即可到达高聚集度节点,从而遍历较大范围的节点共享信息。

同时,最近的有关研究表明,该算法在符合小世界特性和幂规律的网络拓扑结构中,具有与采用“最短路径优先”算法近似的特征路径长^[7],即为 $L \sim \text{Log}_{10} N$,其中, L 为特征路径长, N 为网络的节点数。

因此,从理论上讲,ADP2PN 模型协议中对等机及共享信息查询路由算法的查找速度接近最优的“最短路径优先”算法,与 Gnutella 模型近似,查找效率很高。但因其查询转发不再是扩散方式,而仅向相邻最大聚集度节点转发,所以给网络带来的开销却小得多,克服了 Gnutella 模型的可扩展性问题。同时,如果充分利用主动网络节点的优势,再在主动簇节点上加上缓冲机制,可以进一步提高查询的命中率和效率。

4.3 协议的可扩展性

在 ADP2PN 网络模型中,其协议可扩展性很强。首先,ADP2PN 网络模型由于协议中对等机共享信息的查询路由采用了“最大聚集度优先”算法,不再采用扩散方式,每一步仅转发到一个主动节点,因此避免了大量扩散查找信息的产生,从而使得该协议具有很强的可扩展性,适合于大型网络。其次,从拓扑结构上看,该模型无论在路由器级还是在 AS 级,均体现了小世界特性和幂规律,不会随着规模的变化而发生变化。因此,随着 Internet 网络规模的扩展,协议可以非常平滑地适应网络规模的扩大。

5 结论与相关工作

综上所述,通过以上体系结构构建的 ADP2PN 网络模型,将充分利用原 Internet 网络路由由节点的拓扑结构,由自治系统构成自然的“小世界”,整个网络拓扑又符合幂规律特性。因此可以充分利用主动节点的路由表信息,主动利用小世界特性和幂规律,使得 P2P 网络信息查询定位不再以扩散方式盲目进行,因而从根本上改善了查询信息的定位搜索效率和网络的可扩展性。当然,ADP2PN 网络模型还需进一步完善,进一步地研究模型跨 AS 时的策略路由的实现与管理问题,以及当模型 P2P 网络结合安全性策略时的路由查询功能等。

致谢 在此,我们向对本文的工作给予支持和建议的国家数字交换系统工程技术研究中心和郑州轻工业学院计算机科学系的同学和老师们,尤其是谢培泰教授,表示感谢,希望他早日康复。

References:

- [1] Jovanovic MA. Modeling large-scale peer-to-peer networks and a case study of Gnutella [MS. Thesis]. University of Cincinnati, 2001.
- [2] Faloutsos M, Faloutsos P, Faloutsos C. On power-law relationships of the Internet topology. In: Chapin L, Sterbenz JPG, Parulkar G, Turner JS, eds. Proc. of the ACM SIGCOMM'99. New York: ACM Press, 1999. 251 ~262.
- [3] Tennenhouse DL, Smith JM, Sincoskie WD, Wetherall DJ, Minden GJ. A survey of active network research. IEEE Communications Magazine, 1997,35(1):80~86.
- [4] Wetherall DJ, Gutttag JV, Tennenhouse DL. ANTS: A toolkit for building and dynamically deploying network protocols. In: Lazar AA, ed. Proc. of the 1st IEEE Conf. on Open Architecture and Network Programming. New York: ACM Press, 1998. 117~129.
- [5] Barabasi A-L, Albert R. Emergence of scaling in random networks. Science, 1999,286(5489):509~512.
- [6] Watts DJ, Strogatz SH. Collective dynamics of 'small-world' networks. Nature, 1998,393(4):440~442.
- [7] Kim BJ, Yoon CN, Han SK, Jeong H. Path finding strategies in scale-free networks. Physical Review E, 2002,65(2): 027103-1~027103-4.
- [8] Huang DY, Liu G, Zhang Y, Zhang AL, Huang JH. Utilizing the topology property of Gnutella peer-to-peer network to improve its scalability. Computer Engineering and Applications, 2003,39(26):58~60 (in Chinese with English abstract).
- [9] Bu T, Towsley D. On distinguishing between Internet power law topology generators. In: Kermani P, ed. Proc. of the IEEE INFOCOM 2002. Washington: IEEE Computer Society Press, 2002. 638~ 647.
- [10] Li ZP, Huang JH, Huang DY, Zhuang L. Introduction to peer-to-peer networking technology and development. Telecommunications Science, 2003,19(3):1~4 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献:

- [8] 黄道颖,刘刚,张尧,张安琳,黄建华.利用 Gnutella 网络的拓扑特性改进其可扩展性.计算机工程与应用,2003,39(25):58~60.
- [10] 李祖鹏,黄建华,黄道颖,庄雷.P2P 网络技术的发展与展望.电信科学,2003,19(3):1~4.