

P2P 节点智能选择机制的研究与实现

陈兴蜀,林大云,王文贤

(四川大学网络与可信计算研究所,成都 610065)

(chenxsh@scu.edu.cn)

摘要:对对等网络(P2P)的流量问题进行了分析,指出 P2P 流量问题产生的原因。融合网络运营商、地理位置等信息,提出了一种节点智能选择机制。该机制优先选择属于相同运营商和地理位置接近的节点作为数据交换对象,最大限度地数据流量控制在本地网络和同一运营商的网络中,从而减少骨干网和网络出口的负载,同时提高了数据传输性能。在 Bit Torrent (BT) 系统中融合智能选择机制后,Tracker 智能选择的节点在往返时延、路由跳数上均得到优化,实验数据表明该机制能有效减少“流量旅行”,提高 P2P 传输效率。

关键词:对等网络;Tracker;流量控制;智能

中图分类号: TP393.07 **文献标志码:** A

Research and implementation of intelligent selection mechanism in P2P

CHEN Xing-shu, LIN Da-yun, WANG Wen-xian

(Network and Trusted Computing Institute, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610065, China)

Abstract: P2P traffic problem was analyzed to point out the reasons of P2P traffic problem firstly. Then the information of Internet Service Provider (ISP) and geographic position was used to design an intelligent node selection mechanism. In this mechanism, one node chose nodes which belonged to the same ISP and were in geographical proximity to the objects for exchanging data, so the mechanism could control the data flow in the local network and the same ISP's network to the greatest extent, thus reducing the network load, and improving data transmission performance. To prove the validity of intelligent node selection mechanism, Round-Trip Time (RTT) and number of hops were tested. The simulation results show that the mechanism can effectively reduce the "flow travel" and improve the P2P transmission efficiency.

Key words: Peer-to-Peer (P2P); Tracker; flow control; intelligent

0 引言

随着对等网络(Peer-to-Peer, P2P)技术的广泛应用,P2P 所带来的问题也得到关注,争论的核心之一为 P2P 带来的网络流量问题。2007 年德国 Ipoque 公司对大约 100 万用户的 3 PB(3000 TB)互联网数据进行了分析统计,得出的研究报告指出,P2P 文件共享应用已经占各国互联网总流量的 49%~83%,深夜时分甚至可以超过 95%,而其中 BitTorrent^[1] 的流量占据了 P2P 流量的 50%~70%^[2]。同时,据国内权威部门统计,当前 P2P 流量已经占整个互联网的流量约 70%,并且正在以每年 350% 的速度急剧增长。P2P 导致的流量消耗了巨大的网络带宽,尤其是骨干网络和国际出口的带宽,使网络基础设施承受了极大压力。

目前,国内外对 P2P 流量管理的研究主要集中在 3 个方面:1)识别 P2P 协议,封堵 P2P 流量;2)采用缓存机制缓解 P2P 流量;3)优化 P2P 协议,改善 P2P 流量形成过程,疏导 P2P 流量。文献[3-5]采用深度报文检测(Deep Packet Inspection, DPI)技术和基于流量特征的检测技术来识别 P2P 协议,以达到封堵 P2P 流量的目的,但是从 P2P 的发展历程来看,封杀 P2P 并没有阻止 P2P 的发展,因而也无法解决 P2P 的流量问题。文献[6-7]采用了 P2P caching 技术,该技术通过在网络边缘缓存 P2P 内容,将重复内容重定向至 Cache 服

务器处理,达到缓解 P2P 流量的目的,但 P2P caching 技术需要解决协议识别、流量捕获、内容缓存和分发等技术环节,同时随着加密技术在 P2P 协议中广泛应用,caching 技术已无法适应 P2P 的发展,失去了缓解流量的作用。随着 P2P 技术的广泛应用,近几年研究者们开始考虑从优化 P2P 协议本身入手,改善 P2P 流量形成过程,进而疏导 P2P 流量,如 P4P 技术和主动测量技术。P4P(Proactive network Provider Participation for P2P),即电信运营商主动参与 P2P 网络,是对 P2P 技术的升级^[8]。P4P 通过加强 P2P 应用与网络运营商之间的协商,结合当前的网络拓扑结构进行节点选择,从而提高数据传输效率。文献[9]表明 P4P 能有效地减少互联网服务提供商(Internet Service Provider, ISP)间流量,改善 P2P 系统性能;但 P4P 需要运营商的参与,P4P 能否得到实施和部署,仍取决于运营商对 P2P 的态度,这在一定程度上限制了 P4P 的发展。文献[10]采用主动测量技术,估算节点间的距离(节点间路由跳数数和 RTT 值大小),改进 P2P 节点选择策略,实验结果表明该方法能有效提升下载效率并改善网络性能。主动测量技术需要对选择的节点进行“距离”测量,如果下载资源热度较高、节点较多,会导致测量的时间过长,以至节点选择效率较低。

本文提出的节点智能选择机制从改进 P2P 协议入手,解决 ISP 网间流量问题,不需 ISP 主动参与,通过地理信息矩阵

收稿日期:2010-08-06;修回日期:2010-09-19。

基金项目:国家 973 计划项目(2007CB311106);国家信息安全战略研究与标准制定工作项目(TC260-JCYJ-W1-2008042)。

作者简介:陈兴蜀(1968-),女,四川成都人,教授,博士生导师,主要研究方向:信息安全、计算机网络;林大云(1986-),男,四川绵阳人,硕士研究生,主要研究方向:信息安全、P2P 网络;王文贤(1978-),男,福建晋江人,讲师,博士研究生,主要研究方向:信息安全、P2P 网络。

算法估算节点“距离”,相比主动测量技术在节点选择效率上有明显改善。实验结果表明该机制能有效地减少了“流量旅行”,提高了 P2P 传输效率。

1 P2P 流量问题的解决思路

目前主流的 P2P 应用中,各个节点之间的数据交换是随机和无序的,虽然依托于互联网,但与物理网络拓扑却没有直接关系。例如一个地处上海的节点可以随机选择或被分配与北京的节点进行数据交换,也可以与美国纽约的节点进行数据交换,而不管后者和自己相隔了一个太平洋。这种差别对于用户而言,只是资源共享时的传输速度不同,然而对于运营商来讲,数据在本地网间交换的成本比不同运营商之间交换的成本要低得多。随机和无序的交换导致了无谓的跨地区甚至是跨国的“流量旅行”,如果 P2P 节点能够优先在同区域和本地运营商网络中寻找资源,不仅可以大大提升资源下载速度,同时也使得运营商的出口带宽得到合理利用。

虽然目前许多的 P2P 应用对节点的选择进行了一定的改善,像 eMule^[11] 引入了评级制度,基于上传/下载率对节点的优先级进行排序并选择,但这种参考与实际网络拓扑无关,不能起到节省带宽的作用;而以 KAD^[12] 为代表的 DHT 技术引入了节点间距离的概念,但 KAD 中的距离只是体现了逻辑的距离参数,而不是实际的物理距离,无法使得数据传输本地化。

本文设计了基于地理位置和运营商的节点智能选择机制,并将该机制应用于 BT (Bit Torrent) Tracker 上,使 Tracker 服务器具有智能选择节点的能力,弥补了 BitTorrent 应用中的不足。实验验证了该机制所选择的节点在往返时延和路由器跳数上得到了优化,从而达到了提升下载效率、改善 P2P 网络性能的目的。

2 智能选择机制的设计

本文基于 BitTorrent 协议开发了 SecBT 系统,在 Tracker 服务器上实现了基于国内区域的节点智能选择机制,以下简称智能机制。

2.1 总体设计

智能机制主要包含 IP 解析、地理信息矩阵构建及距离计算和运营商选择 3 个模块。

1) IP 解析模块。通过本地 IP 数据库或者远程 IP 数据库 (WebService) 查询 IP 地址对应的地理位置和运营商信息。

2) 地理信息矩阵构建及距离计算模块。根据实际地理位置构建地理信息矩阵,对地区进行编码,利用编码信息进行相对距离计算,获取节点间的距离。

3) 运营商选择模块。完成运营商的优先级设置,根据节点所属运营商,优先选择具有相同运营商的节点,而后再按照运营商的优先级选择节点。

2.2 IP 解析

IP 解析包含地理位置解析和运营商解析。解析采用的方法有两种:建立本地的 IP 数据库和使用 Webservice^[13]。两种方式各有其优势,采用本地 IP 数据库可以缩短解析时间,但不能保证数据的时效性;采用 Webservice 则可以避免这个缺陷,服务提供方负责 IP 数据库的更新,Tracker 向 Webservice 发送 HTTP 请求,并获得 IP 解析的 XML 结果。本文的智能机制中采用的是 Webservice 方式,获得 IP 对应的地

理位置和运营商信息后,将节点放入节点池中。

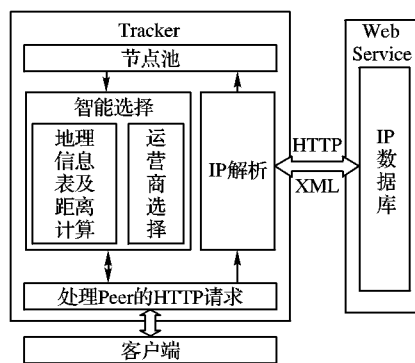


图1 节点智能选择机制框架结构

2.3 地理信息矩阵和距离计算

地理信息矩阵是计算节点相对距离的依据,它以城市经纬度为基础,结合矩阵的特性,对省市地区进行编码,由于该编码蕴含相对位置,所以可通过各自的编码进行距离的计算。

2.3.1 地理信息矩阵的构建

地理信息矩阵是以 34 个省级行政区的省会城市 (直辖市、特别行政区)^[14] 的经纬度来表示该省的大概位置,将经度和纬度分别做升序排列,然后依次映射至矩阵中。

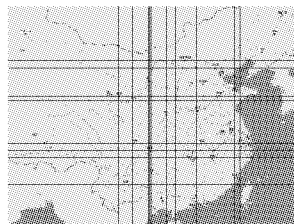


图2 省会城市经纬图

首先构建一个 $n \times n$ 的矩阵 A , 其中: $n = 34$, $a_{(i,j)}$ 表示这个矩阵 A 的第 i 行、第 j 列的元素。假设某省会城市 $C\{x,y\}$, 其中 x 表示在纬度排序中的序列号, y 表示在经度排序中的序列号, 则有:

```
for i = 1, 2, ..., n
  for j = 1, 2, ..., n
  {
    if ( i == x AND j == y )
      a(i,j) = 1;
  }
```

即将矩阵 A 的 x 行和 y 列的元素置为 1。所有的省会城市经过这样的处理后,最终可以得到一个只包含 0 和 1 元素的矩阵,其中非零元 (元素 1) 的个数 T 为 34。计算该矩阵的稀疏因子^[9] 如式(1):

$$\delta = \frac{T}{n \times n} = \frac{34}{34 \times 34} = 0.02941 < 0.05 \quad (1)$$

通常认定 $\delta \leq 0.05$ 的矩阵为稀疏矩阵,由式(1)可知构成的地理信息矩阵是稀疏矩阵。

从图 3 所示的矩阵存储位置 and 实际地理位置的比较可以看出,各城市在矩阵中的相对位置基本符合实际地理位置,存在的误差不影响邻居地区的选择。

2.3.2 地区编码

构建了地理信息矩阵后,就可用其对省级行政区进行地区编码,具体方法如下:

- 1) 省级行政区的编码由 4 位数字组成;
- 2) 编码的前两位是对应省会城市在矩阵中的行下标,不足两位时前缀补 0;

3)编码的后两位是对应省会城市在矩阵中的列下标,不足两位时前缀补0。

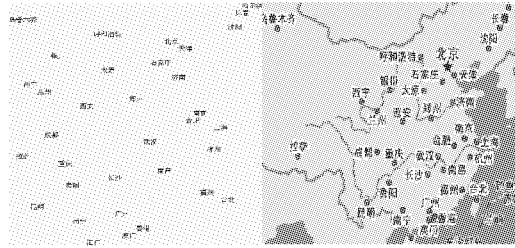


图3 矩阵存储位置与实际地理位置

例如,济南在矩阵中下标为{11,24},则对应省份“山东”的地区编码为“1124”。IP无法解析的地区默认坐标为{0,0},最终的省级地区编码如表1所示。

表1 省级地区编码表

编码	地区	编码	地区	编码	地区	编码	地区
0623	北京	2422	江西	2202	西藏	0513	内蒙古
2308	重庆	1418	河南	3412	海南	1305	甘肃
2904	云南	2728	福建	3110	广西	2129	浙江
0134	黑龙江	2515	湖南	2609	贵州	1726	安徽
0725	天津	3219	香港	1830	上海	3016	广东
1906	四川	0301	新疆	1511	陕西	0807	宁夏
1014	山西	2831	台湾	0233	吉林	1124	山东
3317	澳门	0432	辽宁	1627	江苏	1203	青海
0921	河北	2020	湖北	0000	其他		

在各个省级行政区的内部,采用同样的方式构建市级地区编码表,IP无法解析的地区默认坐标为{0,0},例如山东省的市级地区编码如表2所示。

表2 市级地区编码表

编码	地区	编码	地区	编码	地区	编码	地区
1005	济南	0615	青岛	1403	德州	0808	莱芜
1309	滨州	0514	日照	0211	临沂	1716	烟台
1512	东营	0706	泰安	1210	淄博	0902	聊城
0301	菏泽	1113	潍坊	0107	枣庄	1617	威海
0404	济宁	0000	其他				

一个城市的最终编码由省级编码和市级编码组合而成,例如山东省青岛市的编码为11240615。

2.3.3 距离计算

地区编码表隐含了地区的相对位置信息,则利用地区编码来计算节点间的距离。假设有节点 $P(\alpha, \beta, \gamma, \delta)$,编码前两位数字取整为 α ,编码的3~4位数字取整为 β ,编码的5~6位数字取整为 γ ,编码的7~8位数字取整为 δ 。若请求节点为 $P_1(\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \delta_1)$,节点池中节点为 $P_2(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2, \delta_2)$,则距离 φ 计算公式如下:

$$\varphi = \begin{cases} \sqrt{(\alpha_1 - \alpha_2)^2 + (\beta_1 - \beta_2)^2}, & \alpha_1 \neq \alpha_2 \cap \beta_1 \neq \beta_2 \\ \frac{\sqrt{(\gamma_1 - \gamma_2)^2 + (\delta_1 - \delta_2)^2}}{\sqrt{2\omega}}, & \alpha_1 = \alpha_2 \cup (\beta_1 = \beta_2) \end{cases} \quad (2)$$

φ 的值越小,表示两个节点在地理位置上越接近。如果 $(\alpha_1 = \alpha_2) \cup (\beta_1 = \beta_2)$,表示两个节点属于同一省级地区, ω 表示该省下属市级行政区域的个数,省内距离除以 $\sqrt{2\omega}$ 是

限定省内节点间的距离取值范围为(0,1)。例如,山东省有17个省辖市,所以 $\omega = 17$,则青岛市的节点和济南市的节点距离 φ 为:

$$\varphi = \frac{\sqrt{(\gamma_1 - \gamma_2)^2 + (\delta_1 - \delta_2)^2}}{\sqrt{2\omega}} = \frac{\sqrt{(10 - 6)^2 + (5 - 15)^2}}{\sqrt{2} \times 17} = 0.448 \quad (3)$$

2.4 运营商选择

经过2008年电信业重组后,根据各大运营商互联网宽带接入用户数等情况,将各大运营商^[15]设置优先级如表3所示。

表3 运营商优先级

优先级	运营商
1	中国电信
2	中国联通(网通)
3	中国移动(铁通)
4	教育科研网
5	其他:包括珠江宽带、长城宽带等

同样,构建一个 $1 \times n$ 的运营商矩阵 B ,将优先级保存在该矩阵中,其中 $n = 5$,则 $B = [1, 2, 3, 4, 5]$ 。

设置运营商优先级主要是针对在相同运营商的节点数量不足的情况下跨运营商选择时的策略问题,优先级越高的运营商应该被优先选择。如某个请求节点的运营商是联通,在选择完所有运营商属于联通的节点后,节点的数量仍没有满足需求,则按照优先级依次进行跨运营商选择,直到节点的数量满足需求。由此可知,节点数量越多,跨运营商选择的概率就越小,相应“流量旅行”也越少;反之亦然。

2.5 智能选择策略及模型

选择策略可分为运营商(s)优先和地理位置(d)优先两种。

1)智能选择时运营商优先的策略 $f(s, d)$ 如下:

①选择相同运营商的节点,在此基础上优先选择距离较近的节点,如果节点数量满足需求或已遍历完所有节点,跳至④;

②参照优先级,进行跨运营商节点选择,在此基础上优先选择距离较近的节点,如果节点数量满足需求或已遍历完所有节点,跳至④;

③节点数量未满足需求,优先级递增,跳至②;

④结束选择。

$f(s, d)$ 选择策略表示如图4所示。

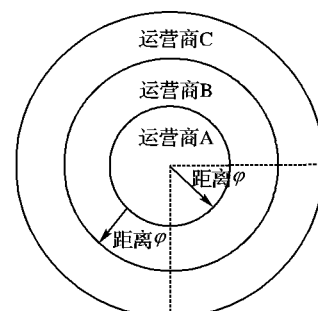


图4 运营商优先选择策略

2)智能选择时地理位置优先的策略 $f(d, s)$ 如下:

①选择同市级地区的节点,在此基础上优先选择相同运营商的节点,如果节点数量满足需求或已遍历完所有节点,跳至④;

②选择同省的节点,在此基础上优先选择相同运营商的节点,如果节点数量满足需求或已遍历完所有节点,跳至④;

③参照距离值,由近及远进行跨省份的节点选择,在此基础上优先选择相同运营商的节点,如果节点数量满足需求或已遍历完所有节点,跳至④;

④结束选择。

$f(d,s)$ 选择策略图形表示如图5所示。

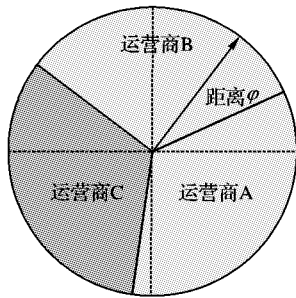


图5 地理位置优先选择策略

在上面的运营商优先即 $f(s,d)$ 选择策略中,如果属于同一运营商的多个节点地理距离较远,会造成较多的跨地区的流量旅行。在地理位置优先即 $f(d,s)$ 选择策略中,如果属于同一省份的多个节点运营商不同,会造成较多的跨运营商的“流量旅行”。所以,如何保证节点尽可能属于同一运营商,又使得资源最大可能地在本地交换,是智能选择策略需要解决的问题。

设存在一个阈值 θ ,当距离 $\varphi \geq \theta$ 时,优先选择距离较近的节点比优先选择属于相同运营商的节点更能提高下载效率;而当距离 $\varphi < \theta$ 时,优先选择具有相同运营商的节点比优先选择距离较近的节点更能提高下载效率,则有智能选择策略 $M(\varphi)$ 为:

$$M(\varphi) = \begin{cases} f(s,d), & \varphi < \theta \\ f(d,s), & \varphi \geq \theta \end{cases} \quad (4)$$

阈值 θ 实质上划分了一个选择范围,当在 θ 内选择完毕后,就需要扩大选择范围,即扩大 θ 的值,再次进行节点的选择。具体的智能选择策略描述如下:

1) 获取阈值 θ ,设定选择距离区间为 $[n \times \theta, (n+1) \times \theta]$ (n 初始值为0),选择相同运营商的节点,在此基础上优先选择距离较近的节点,如果节点数量满足需求或已遍历所有节点,跳至5);

2) 参照优先级,进行跨运营商节点选择,如果节点数量满足需求或已遍历所有节点,跳至5);

3) 节点数量未满足需求,优先级递增,跳至5);已遍历完该区域所有的运营商,跳至4);

4) 设定 $n = n + 1$,扩大选择地区的范围,跳至1);

5) 结束选择。

$M(\varphi)$ 选择策略表示如图6所示。

距离阈值 θ 是一个经验值,根据多次实验测量可取 $\theta = 2$ 。这种策略可以保证节点的选择尽量在本地网和同一运营商的网络中完成,进而减少跨地区和跨运营商网络的流量,降低运营成本。

综合地理信息矩阵和运营商优先级,可以构建智能选择

模型。构建一个三维矩阵 $C^{[16]}$,其 x 轴和 y 轴分别对应地理信息矩阵 A 的行和列, z 轴对应运营商矩阵 B 的行,形成智能选择三维模型,如图7所示。

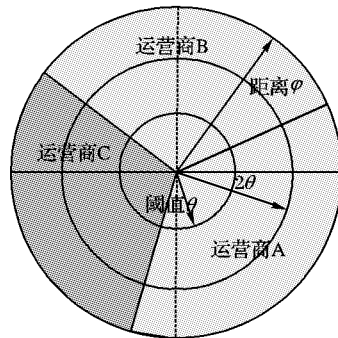


图6 智能选择策略

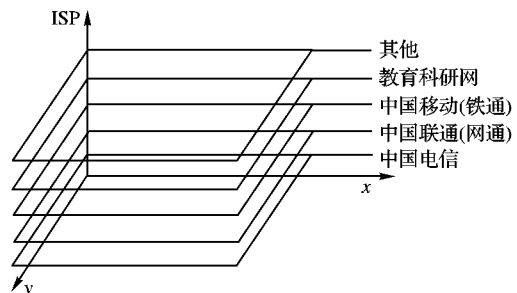


图7 智能选择模型

3 模拟实验

为了验证节点智能选择机制的有效性,本文在实现的SecBT系统上进行了测试。在Tracker服务器上实现智能选择机制,同时模拟下载节点列表,其数量为10~550(均为在线节点),最大返回节点数为50,距离阈值 $\theta = 2$;BT客户端获得由Tracker随机选择和智能选择的节点列表后,分别对各个节点做路由器跳数和往返时延的测量。

3.1 路由器跳数

测量路由器跳数采用了Tracert, Tracert是路由跟踪程序,用于确定IP数据报访问目标所采取的路径。设集合 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 表示Tracker返回给客户端的节点, $HOP(p_i)$ 表示客户端和节点 p_i 之间的路由器跳数,则返回节点列表的平均路由跳数计算公式为:

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n HOP(p_i) \quad (5)$$

分别对随机选择和智能选择时返回节点列表的平均路由跳数做测量,结果如图8所示。

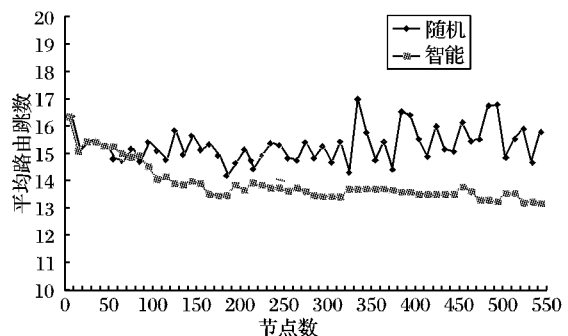


图8 平均路由跳数的测量结果

由图8可知,节点数小于或等于最大返回数50时,两种

选择的平均路由跳数相同;智能选择对路由器跳数的优化在节点数量偏少时不明显;随着节点数量不断的增大,智能选择较随机选择的平均路由器跳数逐渐减小,在节点数达到500时,平均跳数下降3跳左右。

3.2 往返时延

测量往返时延采用检查网络通畅或连接速度的命令因特网包探索器(Packet Internet Grope, Ping),记录往返时延(Round-Trip Time, RTT)。设集合 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 表示Tracker返回给客户端的节点, $RTT(p_i)$ 表示客户端和节点 p_i 之间的往返时延,则返回节点列表的平均往返时延计算公式见式(6)。

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n RTT(p_i) \quad (6)$$

分别对随机选择和智能选择返回节点列表的平均往返时延做测量,结果如图9所示。

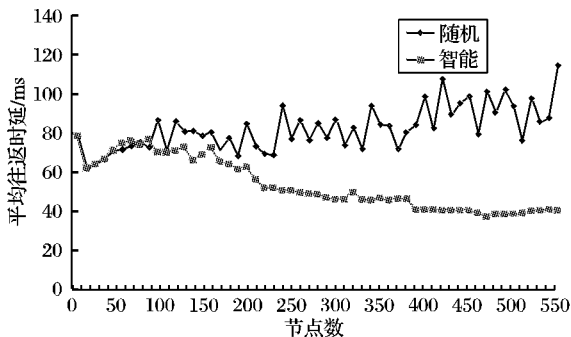


图9 平均往返时延的测量结果

由图9可知,节点数小于或等于最大返回数50时,两种选择的平均往返时延相同;智能选择对往返时延的优化在节点数量偏少时不明显;随着节点数量不断增大,智能选择与随机选择相比平均往返时延逐渐减小,在节点数达到500时,平均时延下降60%左右。

3.3 实验结论

实验结果表明,在BT Tracker上实现智能机制后,节点间的平均路由跳数和平均往返时延都得到了较明显的改善和优化,从而进一步表明了P2P中优先选择本地网和同一运营商网络中的节点可以有效地减少流量旅行,提高传输效率。

4 结语

本文在BT Tracker上设计并实现了P2P节点智能选择机制,利用该机制完成了智能选择结果的测量,通过与随机选择结果的对比,证明了节点智能选择机制的有效性,对BT等P2P应用下载效率的提高以及减少跨地区、跨运营商网络的流量都提供了较好的参考意义。

由于该机制没有考虑网络实际布局的因素,且缺乏运营商IP地址的具体部署(系统依赖于公开的IP地址库信息),在进行节点选择时存在一定的局限性。另外,随着P2P应用中去中心的发展趋势,下一步将研究结合网络拥塞状况及实际的网络布局等情况,引入分布式哈希表节点智能选择机制,使得该机制能够更加全面、准确、高效地完成P2P的节点选择,进一步解决P2P的流量问题。

参考文献:

[1] COHEN B. The BitTorrent protocol specification[EB/OL]. [2010

-01-01]. http://www.bittorrent.org/beps/bep_0003.html

- [2] Ipoque company. Ipoque internet study 2007 abstract[EB/OL]. [2010-01-01]. <http://www.ipoque.com/resources/internet-studies/internet-study-2007>.
- [3] WANG RUI, LIU YANG, YANG YUEXIANG, *et al.* Solving the app-level classification problem of P2P traffic via optimized support vector machines[C]// Proceedings of the Sixth International Conference on Intelligent Systems Design and Applications. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2006: 534-539.
- [4] CONSTANTINOU F, MAVROMMATIS P. Identifying known and unknown peer-to-peer traffic[C]// Proceedings of the Fifth IEEE International Symposium on Network Computing and Applications. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2006: 93-102.
- [5] KARAGIANNIS T, BROIDIO A, FALOUTSOS M. Transport layer identification of P2P traffic[C]// Proceedings of the 4th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement. New York: ACM, 2004: 121-134.
- [6] WIERZBICKI A, LEIBOWITZ N, RIPEANU M, *et al.* Cache replacement policies revisited: the case of P2P traffic[C]// Proceedings of the 2004 IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2004: 182-189.
- [7] SALEH O, HEFEEDA M. Modeling and caching of peer-to-peer traffic[C]// ICNP'06: Proceedings of the 2006 14th IEEE International Conference. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2006: 249-258.
- [8] XIE HAIYONG, KRISHNAMURTHY A, SILBERSCHATZ A, *et al.* P4P: Explicit communications for cooperative control between P2P and network providers[EB/OL]. [2010-01-01]. http://www.dcia.info/documents/P4P_Overview.pdf.
- [9] XIE HAIYONG, YANG Y R, KRISHNAMURTHY A, *et al.* P4P: Provider portal for (P2P) applications[EB/OL]. [2010-01-01]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.143.5641&rep=rep1&type=pdf>.
- [10] LI WEI, CHEN SANZHI, YUTAO. UTAPS: An underlying topology-aware peer selection algorithm in BitTorrent[C]// Proceedings of 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2008: 539-549.
- [11] eMule[EB/OL]. [2010-01-01]. <http://www.emule-project.net/home/perl/general.cgi?l=1>.
- [12] MAYMOUNKOV P, KADEMLIA M D. A peer-to-peer information system based on the XOR metric[EB/OL]. [2010-01-01]. <http://pdos.csail.mit.edu/~petar/papers/maymounkov-kademlia-lncs.pdf>.
- [13] SALAS J, PEREZ-SORROSAL F, PATINO-MARTINEZ M, *et al.* WS-replication: a framework for highly available Web services[C]// Proceedings of the 15th International Conference on World Wide Web (WWW). New York: ACM, 2006: 357-366.
- [14] 中华人民共和国行政区划[EB/OL]. [2010-02-21]. http://www.gov.cn/test/2005-06/15/content_18253.htm.
- [15] 中国ISP联盟:中国主要的ISP[EB/OL]. [2010-02-21]. <http://www.isp.org.cn/show.aspx?id=99&cid=18>.
- [16] TEWARSON R P. Sparse matrices[M]. New York: Academic Press, 1973.