

# P2P 流媒体中未知覆盖网拓扑信息的节点选择策略\*

韦建楠, 庄雷

(郑州大学 信息工程学院, 郑州 450001)

**摘要:** 为了在高动态性的 P2P 网络拓扑下选择高效的合作节点, 以路由相似思想对节点所属的自治区域进行探测, 用探测到的各个节点所在的自治域的信息代替传统策略中假设自治域完全拓扑信息已知这个条件, 结合逻辑和物理最小跳策略进行节点的选择, 增强实际可用性。根据节点的优良性以及聚合流速率, 优先选择最优的邻近节点作为新加入节点的供给节点, 解决了最小跳策略中候选节点优先级相同的问题。仿真结果表明, 改进后的策略相对于原策略, 网络堵塞及流服务质量得到了明显的改善。

**关键词:** P2P 流媒体; 节点选择策略; 最小逻辑跳; 最小物理跳; 节点优良性

**中图分类号:** TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)04-1536-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.04.093

## Peer selection strategies without overlay topology information in P2P streaming media

WEI Jian-nan, ZHUANG Lei

(School of Information Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

**Abstract:** In order to select the efficient cooperative peers in the highly dynamic topology P2P network, this paper detected AS with the idea of using a similar route method. It substituted the full topology information of the known AS with the AS information where peer located. As well as combined the strategy of the smallest number of hops to select peers. In addition to the excellence of the peer and the aggregate flow rate to choose the best peer or peer-set as the supply of new peers added. And it solved the minimum-hop candidate peers with the same priority issues. Simulation results show that in the improved strategies the network congestion has been reduced and the quality of the streaming service has been significantly improved compared with the previous strategies.

**Key words:** P2P streaming media; peer selection strategy; minimum logical hop; minimum physical hop; excellence of peers

基于视频流媒体技术的 P2P 流媒体直播系统已经成为国内外关注和研究的热点<sup>[1,2]</sup>。P2P 系统中, 节点既可以成为视频流的提供者, 同时也可以从其邻居节点中检索视频流信息, 所以有很高的可扩展性和健壮性。

P2P 流媒体直播系统的性能有两个重要衡量标准: a) 加入系统中的节点数目, 因为系统的收益和节点数目成正比, 而且播放过的潜在的节点是需要被绑定保留的, 以确保实时流的性能; b) 自治域 (autonomous systems, AS) 的流量, 因为系统操作的花费增多, 会导致系统的主干网流量增大。这两个标准受节点选择策略的性能影响, 同时节点选择策略也决定了 P2P 覆盖网的逻辑结构。

传统策略中使用最小逻辑跳 (MLH) 策略和最小物理跳 (MPH) 策略, 在假设自治域拓扑信息可用的条件下, 使用逻辑和物理的跳数作为衡量标准, 但在实际应用中很难获得网络的完全拓扑信息。因此, 如何在动态性的未知 P2P 网络拓扑的 P2P 流媒体系统中更好地选择节点, 成为国内外相关研究的热点。

### 1 传统的节点选择策略

在传统的 P2P 直播系统中, 局部最优优先 (LRF) 节点选择策略<sup>[3]</sup>得到了广泛的应用, 它通过在全网发送最新的数据请

求来试图探测到产生的最新数据。但是, 因为节点都是直接从 OSS 来请求数据, 这种策略导致了骨干网的流量过大。

为了减少流经骨干网的流量, CoFetch<sup>[4]</sup>和最小自治域跳策略的小组成员<sup>[5]</sup>给出节点选择策略。CoFetch 希望通过限定各个自治域中的节点数目, 可以在不同的自治域中查询数据来减少流量。然后, 本自治域内其他节点可以通过查询在本自治域中的其他合作节点信息来获得数据。最小自治域跳策略, 即各个节点从根据自治域跳数所确定的最近节点处查询信息, 从而减少网络流量。但是, 以上这些策略都不能保证视频流的直播性能, 没有考虑到加入系统节点数的最大值。

MPH 和 MLH<sup>[6]</sup>考虑到了骨干网流量和加入系统节点数的最大值, 它们通过在每个节点和 OSS (视频直播流的源流服务器) 之间转播节点的数量来引入上界, 以保持视频直播流的实时性能。在 MLH 中, 一个新加入的节点选择逻辑跳最小的节点作为供给节点, 从而减少加入节点的最大数。当有若干这样的节点时, 加入节点通过, 选择与本自治域编号差值最小的自治域来寻找供给节点, 从而减少主干网流量。在 MPH 中, 寻找供给节点的步骤正好与 MLH 的步骤是逆序的。但是, 这种策略是在假定全网自治域拓扑结构已知的情况下, 运用物理跳来选择节点, 要得到全网的信息是很难实现的<sup>[7]</sup>。

收稿日期: 2011-07-19; 修回日期: 2011-09-07 **基金项目:** 河南省重大攻关项目 (092101210104); 河南省教育厅资助项目 (2008A520024); 郑州科技厅产学研专项资助项目 (085SCXY00015); 河南省留学回国高级访问学者科研基金资助项目

**作者简介:** 韦建楠 (1987-), 女, 河南安阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为 P2P 对等网流媒体系统 (wei0068nan@126.com); 庄雷 (1963-), 女, 教授, 博导, 博士, CCF 高级会员, 主要研究方向为 P2P 对等网流媒体系统、形式语言自动机理论。

基于以上问题,本文改进了传统的节点选择策略 MPH 和 MLH,即 MPHm、MLHm 可以通过路由相似策略来获得:每个节点与邻近节点是否是在同一 AS 内的信息,来代替需要获得全网完整的自治域拓朴结构。然后,利用传统的 MPH 和 MLH 策略选择节点,如果同时有若干符合条件的节点,那么根据节点的优良性以及聚合流速率来选择最优的节点或节点集。最后比较了原始策略和改进后的策略,以及进一步阐述了完整的拓朴信息对性能的影响。

### 1.1 P2P 流媒体播放系统概述

在 P2P 流媒体直播系统中,OSS 为提供视频直播流的源流服务器,一个新加入的节点首先要观察整个系统,并从中列出一个观测视频的节点列表;然后从中选出一个最优的节点子集作为供给节点集。OSS 也可作为供给节点。把节点和路由器在物理网络层面上的相互连接称为底层网络(underlay),把节点之间的相互逻辑连接称为覆盖网(overlay)。

### 1.2 MLH 和 MPH 策略

逻辑跳数是指 OSS 与候选节点之间的跳数。物理跳数是指新加入节点所在的 AS 号与候选节点所在的 AS 号之间的差值。为了保持节点的实时流播放速率,假定在 OSS 之间的逻辑跳,每个单独的逻辑跳都是一个不变的延迟。最大逻辑跳记为  $H$ ,从 OSS 到节点  $x$  的逻辑跳记为  $h_x$ 。

MLH:a)新加入的节点查找 OSS 与供给节点之间逻辑跳数最小的节点,若此时有若干个最小逻辑跳是相同的节点;b)则找供给节点与新加入节点之间 AS 号差值最小的节点。两步查找后可以达到减少主干网流量的目的。图 1 为一个该策略的例子描述。

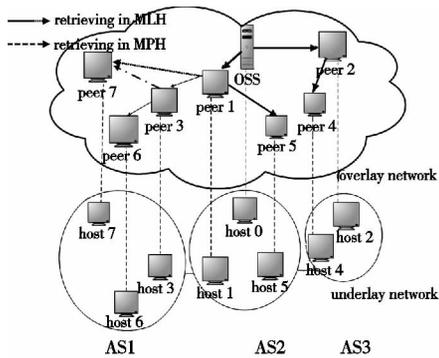


图1 P2P直播流系统模型

MLH:底层网络由三个自治域组成,在覆盖网上有六个节点,节点 3、6 在 AS1,节点 1、5 在 AS2,节点 2、4 在 AS3。假设 OSS 已经没有了剩余的供给能力,而其他所有节点都有一些供给能力。节点 7 是新加入到 AS1 中的节点:a)根据策略它会选择节点 1、2 作为候选节点( $h_1 = h_2 = 1$ );b)节点 1 和 2 比较,1 相对于 7 的物理跳更小。因此选择 1 作为候选节点。如果此后 7 需要追加供给节点,则选择 2 作为候选节点。

MPH:这个策略的步骤正好与 MLH 顺序相反,先步骤 b),再步骤 a)。网络的组成与 MLH 是一样的,节点 7 是新加入到 AS1 中的节点,根据 MPH 策略,它会首先把节点 3、6 作为候选节点,因为节点 3 的逻辑跳为 2,小于节点 6 的逻辑跳 3,所以把 3 选为供给节点。如果此后 7 需要追加供给节点,则选择 6 作为候选节点。

## 2 未知网络完全拓朴结构信息的 MLHm 和 MPHm 节点选择策略

在 P2P 流媒体直播系统中,骨干网(中心自治域)的流量

是一个很重要的衡量标准。如果节点不考虑底层网络的结构而是一味地寻找节点,那么覆盖网的结构会因为没考虑底层网络和穿越骨干网的流量,而变得无用。由于大的骨干网流量会导致更高的传输花费,ISP 希望降低骨干网的流量,进而降低流量。在节点选择策略和每个节点寻找其供给节点的时候,需要考虑到底层网络的结构,这样整个骨干网的流量才好控制到最小。目前,ISP 调查报告指出,P2P 系统中 70%~90% 是穿越骨干网的传输,国际出口带宽的年增长高达 159.2%,导致它们必须限制 P2P 的网络流量以控制成本。因此,解决好 P2P 流媒体系统对骨干网压力过大的问题具有重要的现实意义<sup>[4]</sup>。

另外一个衡量标准是:加入系统中的节点数目,因为系统的收益和节点数目成正比,而且播放过的潜在节点是需要被绑定保留的,以确保实时流的性能。本策略中用最大跳数  $H$  来限制加入节点的数目。

MLH 和 MPH 的改进版本记为 MLHm 和 MPHm。笔者只知道每个节点的邻居自治域的信息而不是自治域完全拓朴信息的条件下,更接近 P2P 流媒体覆盖网的实际情况,从而增加实际可操作性和实用性。

下面介绍一下本文就以上问题引入的,根据路由相似这种已知的思想<sup>[7]</sup>,用一种数学模型来衡量节点的优良性,来解决上述 MLH 和 MPH 中存在的问题。

### 2.1 路由相似思想描述

路由相似思想<sup>[7]</sup>:在同一区域 AS 内的两个节点 A、B 分别到达与其相隔较远的另一目标节点 C,那么  $A \rightarrow C$  和  $B \rightarrow C$  这两条路径上经过的中间路由器绝大部分都是相同的,那么认为 A 与 B 是邻近的在同一 AS 内。根据路由相似思想,该策略无须维护任何映射关系、复杂性低。本文通过这种节点的筛选方法大致可以了解 AS 内包含哪些节点,代替较难获得的 AS 的完全拓朴信息。

### 2.2 节点优良性的衡量

本文将应用一种数学模型<sup>[8]</sup>来衡量节点的优良性,从而选择性能更优的节点来提高流服务质量,同时尽量使覆盖网的压力降到最小。

在实际系统中,单个节点提供的数据流往往不能满足播放要求,因此会选择多个服务节点同时并行地提供数据。为确保流服务质量,综合考虑了候选节点及候选节点与请求节点之间链路的动态变化与性能差异。设流媒体的播放速率为  $V_0$ ,请求节点  $R$  从候选节点  $P_i$  处获得的下载速率为  $V_i$ ,请求节点  $R$  与候选节点  $P_i$  间链路丢包率设为  $L_i$ ,考虑到由于候选节点进出系统的动态性及系统的负载均衡性,所以为每个候选节点设置了可用性  $A_i$  和可连接性  $C_i$  两个参数,分别定义为

$$A(i) = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (1)$$

$$C_i = \frac{C_{\max} - C_{\text{connect}}}{C_{\max}} \quad (2)$$

其中: $t_i$ 表示节点  $P_i$ 在一天内可提供的下载时间; $n$ 表示最近  $n$  天的观测数据。

在式(2)中, $C_{\max}$ 表示每个节点可以连接的并发流的最大数目; $C_{\text{connect}}$ 表示节点  $P_i$ 现在已经连接上的并发流数目。

节点  $P_i$ 的优良性  $g(i)$ 定义如下:

$$g(i) = A(i) \times C(i) \times (1 - L_i) \quad (3)$$

设最终得出的服务节点集中共有  $m$  个节点,那么在接收端接收到的聚合流速率  $V_{\text{aggregated}}$ 表示为

$$V_{\text{aggregated}} = \sum_{i=1}^m V_i \times g(i) \quad (4)$$

从候选节点列表中(含 20 个<sup>[7,9]</sup>候选节点),进一步挑选出优秀的服务节点集<sup>[6]</sup>  $m$  个,使聚合流速率  $V_{\text{aggregated}}$  最大。

由于流媒体系统自身特点,须满足两个约束条件:

a) 服务节点提供的下载速率(多个节点并行提供下载)之和应不小于流媒体的播放速率,以保证媒体流的流畅度较高。

$$\sum_{i=1}^m v_i \geq v_0 \quad (5)$$

b) 服务节点集若太大,请求节点要同时维持的并发流数就太多,将增加其额外开销,所以服务节点集的大小  $m$  应根据经验设置一个最大值  $M_{\text{max}}$ 。

$$m \leq M_{\text{max}} \quad (6)$$

满足两个约束条件后,根据上面提到的要使聚合流速率最大:

$$\max V_{\text{aggregated}} = \sum_{i=1}^m V_i \times g(i) \quad (7)$$

采用枚举思想,策略描述如下:a)从候选节点列表中枚举出所有满足式(6)的子集;b)对 a)中得到的所有子集,逐个用式(5)进行检验,将不满足式(5)的子集过滤掉,即留下同时满足式(5)和(6)的所有子集;c)对 b)中得到的子集,逐个按式(4)计算聚合流速率,并将结果从大到小排序,其中聚合流速率最大的一个子集即为服务节点集;d)将得到的服务节点集返回给流媒体系统。

这个方法因为已经对聚合流速率从大到小排序,所以这时候就可以很轻松地选出候选节点集中性能最优的节点。

### 2.3 MLHm 与 MPHm 节点选择策略流程图及用例分析

图 2 所示是加入了路由相似思想,结合了节点的优良性,根据聚合流速率排序的改进后的节点选择策略 MPHm、MLHm 的流程图。在 MLH 和 MPH 节点策略中,以路由相似思想节点的筛选方法大致可以了解 AS 内包含哪些节点,代替较难获得的 AS 的完全拓扑信息。另外,以节点优良性和聚合流速率可以选出候选节点集中性能最优的服务节点或服务节点集。下面通过一个具体的系统用例来分析改进后的 MLHm 和 MPHm 的适用情况。

1) MPHm 在图 3 中,在底层网络节点 3、6、8 属于 AS1,节点 0、1、2、4、5、7 属于 AS2,更清楚的逻辑结构在覆盖网云团中可以看到。但是,在实际的互联网中,是不容易完全了解到一个动态性极高的 P2P 网络拓扑结构的,这个节点所属的 AS 是需要路由相似思想进行探测的。假设一个节点 7 作为一个  $P_{\text{new}}$  加入到网络中来的时候,它会:a)利用路由相似策略,探测到与它在同一 AS 内的节点 0、1、2、4、5,这时就把这几个节点加入候选节点列表<sup>[7]</sup>;b)利用 MLP 的节点选择方法,此时因为节点 1、2、4、5 的逻辑跳数都是 1,所以,接下来就利用节点优良性和聚合流速率的大小对节点进行排序。若此时  $v_{\text{aggregated}}$  的大小排序为 4、1、2、5,这时,  $P_{\text{new}}$  节点会首选节点 4 作为服务节点,若以后还需要,则依次选择 1、2、5。把 4、1、2、5 作为服务节点集,提供给流媒体应用系统。

2) MLHm 图 3 中,假设网络拓扑和条件都与上述相同,节点 7 要作为新加入的节点,节点 1、2、4、5、8 的最小逻辑跳都是 1,所以这几个节点符合条件。a)利用路由相似策略,探测到与它在同一 AS 内的节点 1、2、4、5,把这几个节点加入候选节点集;b)利用节点优良性和聚合流速率的大小排序。若此时  $v_{\text{aggregated}}$  的大小排序为 4、1、2、5,这时,  $P_{\text{new}}$  节点会首选节点 4 作为供给节点 providing peer,若以后还需要则依次选择 1、2、5 号节点。把 4、1、2、5 作为服务节点集,提供给流媒体应用

系统。

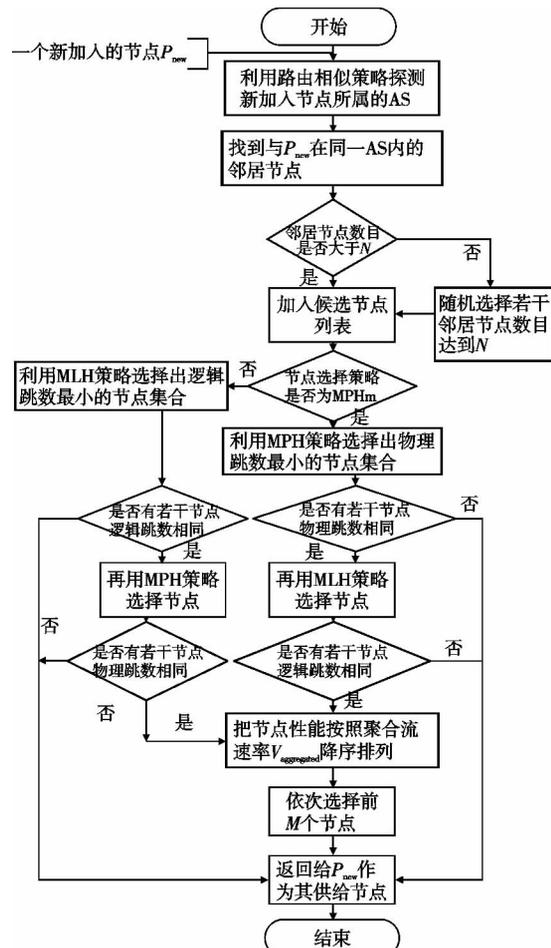


图2 改进后的节点选择策略流程

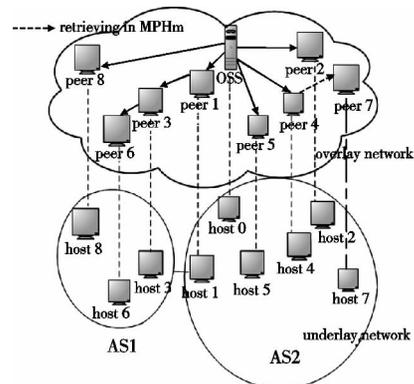


图3 P2P直播流媒体网络结构

## 3 仿真模型和评估

### 3.1 实验环境

在 PeerSim 模拟器中对 P2P 流媒体系统进行仿真。在模拟中通过随机增加和减少节点中 20% 的节点来模拟 P2P 系统的动态特性。覆盖网的节点总数在 0 ~ 1 500 之间变化,同时将覆盖网划分为 16 个 AS。直播的流速率  $A$  是 1 Mbps,最小的位速率  $a$  是 256 kbps,最大逻辑跳  $H$  是 5, OSS 的数目 30 个位置随机放置的,测试比较四种节点选择策略 MLH、MPH、MLHm、MPHm 对系统的性能影响。

### 3.2 实验参数

节点和 OSS 之间最小的流单元为  $a$  Mbps。播放流的位速率  $A = N \times a$ ,  $N$  为常整数,每个视频都不相同。如果接收流速率

率的总和达到了视频的直播流的位速率,那么每个节点都可以播放视频。在图 4(a)中,描述了一个可以播放视频的节点。对于这种节点,满足以下等式:

$$N = n_1 + n_2 + \dots + n_D \quad (1)$$

$$1 \leq D \leq N \quad (2)$$

其中: $D$  是供给节点数目, $n_i$  是供给节点  $i$  的最小单元数目。每个节点有提供流速率  $M \times a$  的能力,称  $M$  为供给能力。

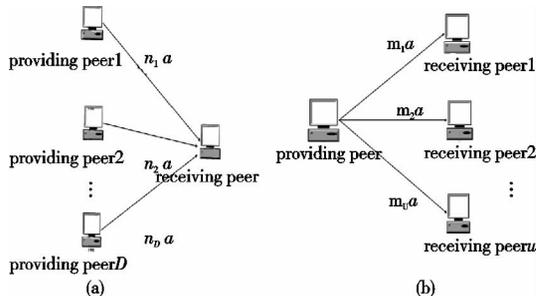


图4 直播流媒体中节点数据的供给和接收图

在图 4(b)中,描述了一个节点可以向其他节点提供它自己的视频流。对于这种节点,满足以下的等式:

$$M \geq m_1 + m_2 + \dots + m_U \quad (3)$$

$$1 \leq U \leq M \quad (4)$$

其中: $u$  是接收节点数目, $m_i$  是接收节点  $i$  的最小单元数目。

### 3.3 仿真结果分析

第一个评价标准是堵塞度  $C$ ,如下所示:

$$C = \frac{\sum_{0 \leq i \leq k} \sum_{0 \leq j \leq k} \lambda_{ij} h_{ij}}{\sum_{0 \leq i \leq k} \sum_{0 \leq j \leq k} \lambda_{ij}}$$

式中: $i, j$  表示节点或者节目源 OSS 的标号; $\lambda_{ij}$  表示从  $i$  到  $j$  的流的位速率; $h_{ij}$  表示从  $i$  到  $j$  的物理跳数; $k$  表示可以加入系统节点的最大数目和 OSS 的数目之和; $C$  的分子是以加权的物理跳数为衡量的总流量。因此堵塞度  $C$  是指:总的传输量除以所有的传输都是以物理跳数等于 1 的理想状况下的数据传输量,得到的比值即为本实验的堵塞度  $C$ 。

如图 5,MLHm 比 MLH 的堵塞度最高处高出 32%,是因为自治域拓扑信息不可用,使用路由相似思想探测需要增加一些花费。同时当节点数目小于 200 时,MPHm 的阻塞度也比 MPH 高,也是因为自治域信息不可用导致的。但是,当节点数目增多到 200 以上时,MPHm 的阻塞度也比 MPH 低 36%,因为随着加入节点的增多,在 MPHm 中优良性高的节点会逐渐进入到各个 AS 内,而在 MPH 中优良性高的节点会积聚在 OSSs 的附近。MPHm 使即将加入的节点在它所在的 AS 内成功地找到供给节点,从而减少了骨干网的流量和堵塞。

如图 6 所示,仿真测试分析了四种节点选择策略的流服务质量,根据聚合流速率  $V_{\text{aggregated}}$  来衡量流媒体中的流服务质量。

用户获得的流服务质量是衡量流媒体系统性能的最重要指标。在有限时间内,节点实际获取到的有效媒体数据占应获取媒体数据的比例,称为节点的实际数据到达率。本实验仿真两个半小时的直播时间,图 6 给出了节点数 0~1 400 变化时,流服务质量变化曲线。MLHm 比 MLH 的流服务质量低 13%,是因为自治域拓扑信息未知的情况下,使用路由相似思想探测各个节点所处的 AS,需要增加一些系统的花费,但是未知覆盖网拓扑信息这个条件更接近真实的实验情况,增强了实际可用性。当节点数目大于 200 以后,MPHm 的流服务质量最高处比 MPH 高 21%,明显改善了流服务质量,进而使实际数据到达率得到提高。这是因为优良性高的节点逐渐进入到各个 AS 内,大部分节点可以在本自治域内的其他节点处得到需

要的数据。

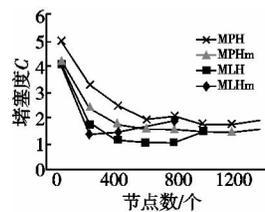


图5 主干网堵塞度

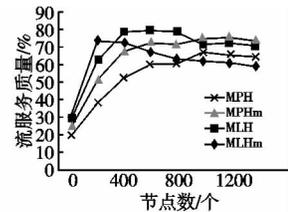


图6 流服务质量数据

## 4 结束语

本文把节点选择算法 MPH、MLH 改进为 MPHm、MLHm 就在于:

a) 利用路由相似的策略进行节点的自区域划分。这样就可以达到不知道自治域的完全拓扑信息的情况下进行节点选择,因为原 MLH 和 MPH 策略中假设的覆盖网完全拓扑结构已知的假设条件在实际中很难达到。改进后的算法虽然利用路由探测消耗了一些系统的花费,但改进后的未知覆盖网拓扑信息这个条件更接近真实的实验情况,更具有实际可行性和实用性。

b) 对候选节点利用数学模型,对节点的性能进行测试和排序。利用测试节点的优良性来区别有若干个节点,同时符合逻辑跳相同并且在同一自治域内的条件时,则按照聚合流从大到小的排序,从而选择最优的供给节点或节点子集。

仿真结果表明,在未知自治域拓扑信息的情况下,优先在本自治域内选择性能优的节点,增强了实际的可操作性,同时一定程度上增强了流服务质量,而且随着节点数目的增多,改进后的选择策略达到了明显减小流经各个自治域网络间和流经主干网的流量大小的目的。

### 参考文献:

- [1] HEI Xiao-jun, LIU Yong, ROSS K W. IPTV over P2P streaming networks: the mesh-pull approach [J]. IEEE Communications Magazine, 2008, 46(2): 86-92.
- [2] 庄雷,陈鸿昶,黄建华,等.基于超级点划分区域的对等网络模型[J]. 计算机应用与软件, 2006, 3(9): 10-11.
- [3] LEGOUT A, URVOY-KELLER G, MICHIARDI P. Rarest first and choke algorithms are enough [C]//Proc of the 6th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement. 203-216.
- [4] TU X, JIN H, LIAO Xiao-fei, et al. Collaboratively scheduling to decrease inter-AS traffic in P2P live streaming [C]//Proc of the 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications. 2008: 325-330.
- [5] LIU B, LU Y, CUI Y, et al. A measurement study on AS-aware P2P streaming strategies [C]//Proc of the 3rd International Conference on Communications and Networking. 2008: 564-568.
- [6] FUKUSHIMA Y, INADA K, TAO Y, et al. Performance evaluation of AS-friendly peer selection algorithms for P2P live streaming [C]//Proc of the 15th Asia-Pacific Conference on Communications. Piscataway: IEEE Press, 2009: 866-870.
- [7] 林子松,陈安领,王宗敏.大规模流媒体直播系统扰动性研究[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(1): 181-183.
- [8] 吴湘宁,汪渊.基于智能群的 P2P 计算网络负载均衡算法[J]. 计算机工程, 2007, 12(24): 136-141.
- [9] HEFEEDA M, HABIB A, XU Dong-yang, et al. CollectCast: a peer-to-peer service for media streaming [J]. Multimedia Systems, 2007, 11(1): 68-81.