

# UPnP 和 STUN 相结合的 NAT 穿越技术研究

任浩<sup>1,2</sup>, 王劲林<sup>1</sup>, 鲁逸峰<sup>1,2</sup>

REN Hao<sup>1,2</sup>, WANG Jin-lin<sup>1</sup>, LU Yi-feng<sup>1,2</sup>

1.中国科学院 声学研究所 国家网络新媒体工程技术研究中心, 北京 100190

2.中国科学院 研究生院, 北京 100190

1.National Network New Media Engineering & Technology Research Center, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

2.Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

E-mail: renh@dsp.ac.cn

**REN Hao, WANG Jin-lin, LU Yi-feng. Research combination of UPnP and STUN for NAT traversal. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(2): 99-101.**

**Abstract:** P2P streaming media application must realize NAT traversal. The UPnP algorithm is recommended in this paper to increase the success rate of NAT traversal, which is the combination of UPnP and STUN. This paper also presents the algorithm of Port-Adding Sample Estimation (PASE) and Peer Auxiliary-Relay (PAR) to improve traditional methods used in symmetric NAT traversal and the situations which both side peers are behind NATs. Experiments show that the algorithms achieve good performance.

**Key words:** NAT (Network Address Translation) traversal; UPnP; STUN; sample estimation; auxiliary-relay

**摘要:** NAT 穿越是 P2P (Peer-to-Peer) 流媒体应用必须要解决的问题, 目前已有的单一穿越方法由于各自的局限性造成穿越成功率不高。为此提出 UPnP 方法, 将 UPnP 和 STUN 有效结合以提高穿越成功率; 同时针对对称 NAT 的穿越以及通信节点都位于 NAT 后情况下的穿越提出端口添加样本估计算法 PASE 和外网节点辅助中继算法 PAR, 以改进现有算法的不足。实验证明了方法的有效性。

**关键词:** NAT (网络地址转换) 穿越; 通用即插即用; NAT 的 UDP 简单穿越; 样本估计; 辅助中继

**DOI:** 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.02.028 **文章编号:** 1002-8331(2009)02-0099-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP393

## 1 引言

随着互联网宽带应用的普及, P2P 流媒体业务正在成为网络应用的热点。同时为了节省网络地址空间和保障网络安全, 当前互联网中较多的采用了 NAT (网络地址转换) 技术。NAT 特性<sup>[1]</sup>决定了 P2P 流媒体应用必须解决 NAT 穿越的问题。目前已有的穿越方法都存在各自的局限性或限制条件, 如何将几种方法合理结合使用是提高穿越成功率的一种有效途径。同时对称 NAT 尚没有较高效穿越方法<sup>[2]</sup>, 一般采用第三方穿越代理辅助穿越或端口猜测的方法, 效率较低。另外当通信节点都位于不同 NAT 后时较多采用中继服务器转发的策略进行穿越<sup>[3]</sup>, 当系统中有大量内网节点时服务器压力较重。

针对上述问题提出基于 UPnP 和 STUN 技术相结合的 UPnP 方法, 通过结合两种方法各自的优点以弥补单一穿越方法的不足。同时提出端口添加样本估计算法 PASE 以实现对称 NAT 的高效穿越。对于基于中继服务器转发的穿越策略, 提出外网节点辅助中继算法 PAR, 以降低中继服务器压力实现负载均衡。通过实验表明, 提出的算法可以有效提高 NAT 穿越成功率。

## 2 相关工作

UPnP 是即插即用技术在网络环境中的扩展, 它通过用户控制点向 NAT 设备发送控制信息添加端口映射实现 NAT 穿越。UPnP 不需要对现有设备进行改造, 但要求集成 NAT 功能的网关或路由器支持 UPnP 功能。目前大多数大型网关都支持 UPnP 解决方案并且配置简单, 因而大多数 P2P 流媒体应用都采用 UPnP 技术解决 NAT 穿越问题。但是不排除在部分网络环境下网关不支持 UPnP 功能或该功能被管理员关闭。

STUN 采用另一种思路实现 NAT 穿越, 内网中的主机通过位于外网的穿越服务器预先得到出口 NAT 上的对外地址, 然后在与其它节点通信时直接使用该外部地址作为自己的通信地址, 这样就可以实现 NAT 穿越。STUN 协议最大的优点是无需对现有 NAT 设备做任何改动, 同时 STUN 方式可在多个 NAT 串联的网络环境中使用。STUN 的局限性在于不适合支持 TCP 连接的穿越和对称 NAT 的穿越。

对称 NAT 的穿越多数都要借助第三方穿越代理辅助进行穿越或采用端口猜测方法。数据在经过第三方转发时增大了数

**基金项目:** 国家高技术研究发展计划 (863) (the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2007AA01Z238)。

**作者简介:** 任浩 (1983-), 男, 博士生, 主要研究领域为宽带多媒体通信; 王劲林 (1964-), 男, 博士生导师, 主任研究员, 主要研究领域为宽带通信; 鲁逸峰 (1982-), 男, 博士生, 主要研究方向为宽带多媒体通信、嵌入式终端。

**收稿日期:** 2008-07-07 **修回日期:** 2008-08-07

据包的延迟和丢包的可能性,同时也增大了系统部署开销。端口猜测方法通过计算端口分配间距穿越对称 NAT,但是算法默认 NAT 按照固定间距来分配端口号<sup>[4]</sup>,而实际情况中前后两次分配的端口号不一定存在线性关系。

基于中继服务器的穿越策略是当两个都位于 NAT 后的节点要进行通信时,由于 NAT 的存在谁也不能首先发起连接,于是由位于外网的中继服务器帮助建立连接。但该方法在流媒体系统中大量内网节点间的数据请求都要经过中继服务器辅助穿越 NAT 进行发送接收时,容易造成通信负载超过中继服务器的上限导致服务器崩溃。

### 3 基于 UPnP 和 STUN 结合的穿越方法 UPUN

由于 UPnP 和 STUN 方法的原理不同,如何找到有效的结合点使两种方法都能够正常工作是关键。UPUN(UPnP-STUN,通用即插即用与 UDP 简单穿越 NAT)的基本思想是在内网中搜索 UPnP 设备,如果在内网中找到 UPnP 设备就按照 UPnP 标准向设备发送添加端口映射命令实现穿越;若没有找到设备,则采用 STUN 方法对 NAT 进行二次穿越。方法流程图如图 1 所示,具体描述如下:

(1)新加入系统的内网节点首先通过简单服务发现协议(SSDP)在内网中广播搜索 UPnP 服务的消息:

```
void Search(char*name,char*type);
```

根据 UPnP 标准要求,name 为“WANIPConnection”,type 为“service”,表示搜索 UPnP 服务。

(2)根据搜索结果,在 NAT 网关上添加端口映射或采用 STUN 方法进行二次穿越:

①如果搜索 UPnP 服务成功,则通过简单对象访问协议(SOAP)向 NAT 网关的控制 URL 发送添加端口映射的请求。

```
void Command(char*name,char* args);
```

其中 name 为向 UPnP 设备下达的控制命令“AddPortMap-

ping”,args 为 UPnP 标准要求的若干参数。添加端口映射后内网节点就可与外网节点建立连接,从而实现了 NAT 穿越。

②如果搜索失败,则启动 STUN 模块对 NAT 进行二次穿越。

```
void STUN(int& IP,int& Port,Nat & type);
```

其中 IP 和 Port 是在 STUN 穿越过程中获得的 NAT 对外 IP 和端口;type 是在穿越过程中获得的 NAT 类型。如果 NAT 是锥形 NAT,今后该内网节点就可以用得到的外部地址端口与其它节点通信;若是对称 NAT,由于当该节点与其它节点通信时 NAT 会添加不同的映射,所以不能采用该外部地址端口进行通信,针对这种情况下传统穿越方法的特点提出 PASE 改进算法,下文进行详述。

### 4 端口添加样本估计算法 PASE

算法的基本思想是根据 NAT 已添加端口映射的样本值分析 NAT 行为。这里假设在算法执行期间 NAT 为 P2P 流媒体应用添加的端口映射不会消除,这可以通过向 NAT 发送心跳包的方法实现,以防止添加的端口映射由于长时间没有通信而失效。算法流程如下:

位于对称 NAT 后的主机向位于外网的 STUN 服务器的三个不同端口依次发起三次连接,并通过服务器反馈得到三次连接 NAT 添加的映射端口,设为  $p_1, p_2, p_3$ ,根据这三个数的变化规律做如下处理:

(1)若  $p_1, p_2, p_3$  为等差数列,则认为对称 NAT 添加端口映射的方法为依次递增等差数列的公差  $d$ 。这样今后位于对称 NAT 后的节点只要在原外部端口的基础上递增  $d$  作为自己新的通信端口并填入多媒体数据交互的负载中就可与其它节点进行通信。

(2)若  $p_1, p_2, p_3$  不是等差数列,则认为 NAT 不是按照固定间距来分配端口号的,此时根据已添加映射样本值对端口映射的总体  $X$  进行估计:

再次向 STUN 服务器发起  $N-3$  次连接,与开始得到的三个映射端口共同组成容量为的样本观察值,设样本观察值都包含在  $[a, b]$  区间内。由于一般 STUN 添加的映射端口都大于 10 000,因此不妨假设  $10\ 000 < a < b \leq 65\ 535$ 。将区间分成  $M$  个子区间 ( $M < N$ ):

$$a = n_0 < n_1 < \dots < n_{M-1} < n_M = b \tag{1}$$

设每个子区间  $(n_i, n_{i+1}]$  包含  $t_i$  个观察值,则  $t_i/N$  表示事件“ $n_i < X \leq n_{i+1}$ ”在  $N$  次实验中发生的频率( $i=0, 1, \dots, M-1$ )。由贝努利大数定律可知,事件的频率依概率收敛于事件的概率,故当  $N$  适当大时事件的概率可用事件频率来近似,即

$$t_i/N \approx P(n_i < X \leq n_{i+1}) = \int_{n_i}^{n_{i+1}} p(x) dx \tag{2}$$

$p(x)$  是估计的端口映射总体  $X$  的概率密度。由如下近似式  $P(n_i < X \leq n_{i+1}) \approx (n_{i+1} - n_i) p(n_i)$

$$P(n_i < X \leq n_{i+1}) \approx (n_{i+1} - n_i) p(n_i) \tag{3}$$

代入式(2)得到

$$p(n_i) \approx t_i/N \Delta n_i (\Delta n_i = n_{i+1} - n_i) \tag{4}$$

令  $\varphi_N(x) = t_i/N \Delta n_i (n_i < x \leq n_{i+1})$

$\varphi_N(x)$  的图形就是端口映射总体  $X$  在  $[a, b]$  上的分布直方图,通过分析  $\varphi_N(x)$  的图形(如图 2)在哪个  $\Delta n_i$  区间取值较大就可判断 NAT 映射端口一般分布在哪个区间,在该区间内再采用遍历的方法就可有效提高映射端口猜测的命中率。

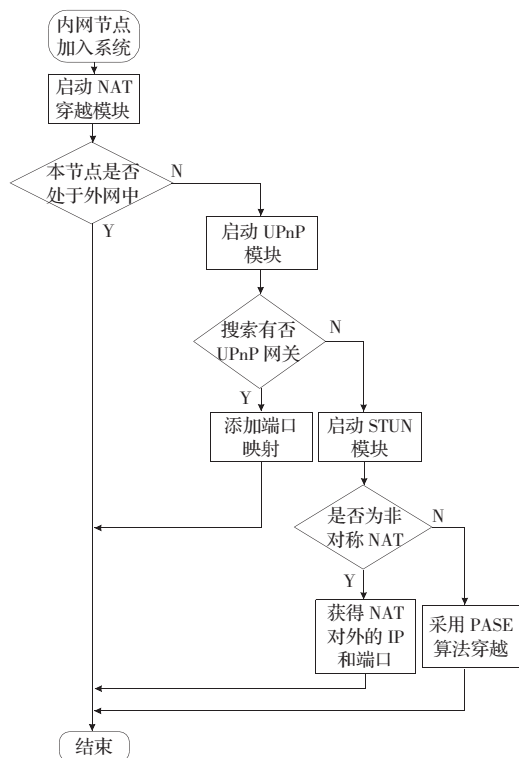
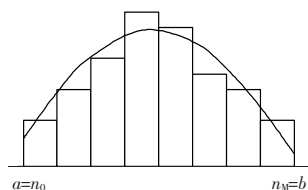


图 1 UPUN 方法流程图

图2  $\varphi_N(x)$ 的一种直方图分布

## 5 外网节点辅助中继算法 PAR

该算法的基本思想是让部分带宽充裕的外网普通通信节点充当中继服务器的角色来缓解中继服务器的压力,有效解决系统瓶颈。流程示意图如图3所示,具体算法描述如下:

(1)新加入 P2P 流媒体系统的外网节点首先向中继服务器注册,使中继服务器保留一份外网节点的列表。

(2)中继服务器采用心跳机制维护注册的外网节点列表的更新并对注册的外网节点进行探测,选择 RTT 最小的  $M$  个节点作为辅助中继候选节点。

(3)当某内网节点向中继服务器注册时,中继服务器注册该节点信息的同时向其传送一份辅助中继候选节点列表。

(4)内网节点从列表中随机选择  $N(N < M)$  个外网节点发起连接并选择 RTT 最小的节点作为自己今后的辅助中继节点并向其发送注册信息。

(5)辅助中继节点会周期性的向注册的内网节点发送探寻消息,当多次没有收到应答消息后认为该节点失效或离开系统,从自身的注册列表中删除该节点。

(6)确定自己新中继节点的内网节点得到在该辅助中继节点上注册的其它内网节点信息。今后若要与其它 NAT 后节点通信,首先查询辅助中继节点的注册列表,若待连接节点在列表中就用该辅助中继节点中继,否则再用中继服务器中继,这样就可以有效减轻中继服务器的负担,提高系统可扩展性。

(7)当某辅助中继节点离开系统时向中继服务器发送再注册信息,由中继服务器为在该节点上注册的内网节点提供新的辅助中继候选节点列表。收到新列表信息的内网节点执行算法步骤(4)确定自己新的辅助中继节点。

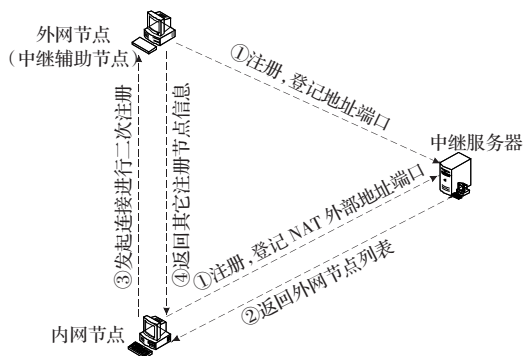


图3 PAR 流程示意图

## 6 算法性能分析

为了验证算法性能,采用 D-LINK DI-504 路由器搭建了一个内网环境。DI-504 内置 NAT 功能,允许多台 PC 共享一个网络连接。同时支持 UPnP 功能,可以手工配置是否开启该功能。

本文对上述算法进行了测试,图4是采用 UPUN 方法和只采用单一方法穿越成功率的对比图。由图可见 UPUN 方法由于将两种方法进行结合,有效提高了穿越成功率。

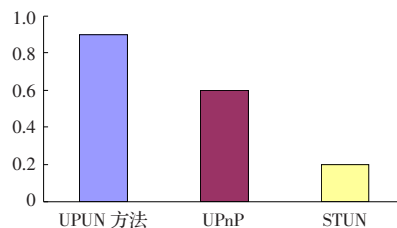


图4 穿越成功率对比

表1是 PASE 与传统端口猜测方法的性能对比。由于传统方法只是 PASE 的一种特例,并且 PASE 根据端口添加的样本观察值估计其经验分布,当样本观察值足够多时可有效提高猜测命中率。

表1 性能对比

	连接次数	成功次数	失败次数	成功率/(%)
PASE	100	87	13	87
传统方法	100	53	47	53

图5是 PAR 算法与传统方法的服务器压力对比图。图中横轴表示系统中内网节点数,纵轴表示中继服务器在单位时间内收到的平均中继请求数。由图可以看到随着系统内网节点数目增多 PAR 算法可以有效降低中继服务器压力,避免由于服务器单点故障造成穿越失败。

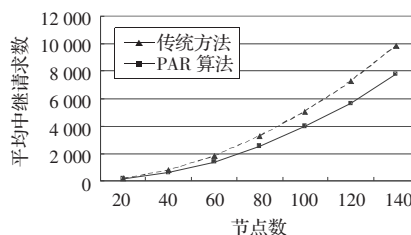


图5 服务器压力对比图

## 7 结论

本文提出采用 UPnP 和 STUN 相结合的方法 UPUN 以克服单一方法的局限性,提高 NAT 穿越成功率。同时为实现对称 NAT 的高效穿越对传统端口猜测算法进行了改进,提出 PASE 算法。另外在分析基于中继服务器穿越方法不足的基础上提出 PAR 算法,以避免由于服务器负载过重造成 NAT 穿越失败。实验表明本算法可有效提高穿越成功率,降低 NAT 穿越中继服务器压力。

在今后的工作中将就对称 NAT 穿越算法继续进行优化以进一步提高穿越成功率。

## 参考文献:

- [1] Srisuresh P, Holdrege M. RFC 2663 IP Network Address Translator (NAT) terminology and considerations[S]. Lucent Technologies, IETF, 1999-08.
- [2] Wg M, Takeda Y. Symmetric NAT traversal using STUN[S]. IETF, 2003-06.
- [3] Ford B, Srisuresh P, Kegel D. Peer-to-peer communication across network address translators[C]// Proceedings of the 2005 USENIX Annual Technical Conference, Anaheim, October 2003.
- [4] 王止戈, 彭宇峰, 张苏灵, 等. 一种基于预测的 Symmetric NAT 穿越解决方案[J]. 计算机工程, 2005, 31(11): 122-123.