

# 基于 NAT 的 UDP 流媒体服务端到端解决方案

姜秀艳, 叶德建, 孙浩峻

(复旦大学软件学院, 上海 201203)

**摘要:** UDP 流媒体服务器如何穿透内网满足客户端点播是一个重要的问题。UDP 流媒体服务器发送数据之前需要知道发送目的地址(包括 IP 地址和端口号), 而通过代理服务器点播的内网用户无法告知流媒体服务器。该文针对流媒体服务器 ClearServer, 提出了一种 ClearNat 地址映射方法, 通过提供 NAT 地址和端口、内网地址与端口的映射, 使 ClearServer 发送数据到客户端。结果表明, 该方法计算复杂度小, 支持内网“大并发用户”, 对 ClearServer 主体程序没有影响。

**关键词:** UDP; NAT; ClearServer 流媒体服务器; 地址映射

## Side-to-side Solution Method of UDP Streaming Media Service Based on NAT

JIANG Xiuyan, YE Dejian, SUN Haojun

(Software School, Fudan University, Shanghai 201203)

**【Abstract】** It is an important problem for UDP streaming media server to get through the intranet so that the client computers can visit it smoothly. It is necessary for the streaming media server know the address and port where the data will be sent. However, intranet clients by NAT Server can't tell the streaming media server such information. It proposes a method called ClearNat that provides address mapping related to ClearServer streaming media server. By providing mapping information between NAT IP & port and Intranet IP& port, ClearNat method makes the ClearServer transmit data to the client smoothly. Results show that the method has the advantages of small computing complexity, supporting large concurrent clients, less modification for main program of ClearServer and little affecting of ClearServer's effectiveness.

**【Key words】** UDP; NAT; ClearServer streaming media server; address mapping

### 1 概述

流媒体(streaming media)<sup>[1]</sup>技术是: 一种支持多媒体数据流通过网络从服务器向客户机传送, 接收方边接收边播放的技术。对网络服务的要求为: (1)必须实时传输数据, 仅容忍少量的延迟(数百毫秒); (2)传送数据相对可靠, 容忍一定数量的数据丢失; (3)保证一定的带宽, 以保证传输的数据量能够实时播放。

Internet给应用程序提供两种服务<sup>[2]</sup>: TCP和UDP。TCP通过“确认重传机制”保证数据无错、顺序地传送。采用拥塞控制策略和发送速率控制策略解决拥塞问题<sup>[2-4]</sup>、发送速率与接收速率不匹配问题。对于流媒体来说, 采用TCP传输不能保证数据传输的实时性。因为UDP协议没有TCP的拥塞控制和发送速率控制, 也没有提供数据传输的可靠性保证, 却保证了传输的实时性, 所以被流媒体应用系统所采纳。

ClearServer<sup>[5]</sup>是受国家科技部创新基金会委托, 由国家自然科学基金资助自主创新开发的具有自主知识产权、高性能的流媒体服务器, 含有多项国家发明专利和国际领先的关键技术(2005年获上海市科学技术进步奖二等奖), 已经成功应用到多个VOD系统和上海市互动电视闸北区示范性项目中, 具有广阔的应用前景。

ClearServer服务器端接收到流媒体RTSP请求数据之后, 将RTSP数据包打开才能取得客户端的IP和端口号, 根据取得的客户端IP和端口号, 将客户请求的多媒体数据通过UDP发送到客户端。接收和发送机制存在的问题为: 如果一台内网机器点播ClearServer时, 由于内网机器IP和端口号对于

普通的Internet上的机器而言, 是不可知的, 在包含客户端请求信息的客户端数据包中, 包含的IP地址和端口号对于ClearServer来说是不可识别的, 因此根据这个数据包中的IP和端口号, ClearServer无法将客户端请求的数据发送到客户端。

本文针对ClearServer用户点播中存在的问题, 提出了解决方法ClearNat。通过ClearNat方法, ClearServer可以识别内网客户端的IP地址和端口, 将多媒体数据顺利发送到客户端。

### 2 问题描述

UDP是一个无连接的服务, 即不存在在2个进程之间建立连接的初始“握手”阶段。在一个进程中, 想要另一个进程发送一批字节, 发送方进程必须将目的进程的地址和端口号加入到字节中。对于ClearServer来说, 当客户端点播ClearServer时, 客户端在发送字节中加入ClearServer和自己的IP和端口号信息, 形成分组, 再发送到服务器端。客户端发出的消息到达ClearServer后, ClearServer首先将分组分解, 得到客户端的IP和端口号信息, 服务器响应客户端请求, 在发送流媒体数据到客户端之前, 先对要发送的流媒体数据进行“包装”, 加入客户端地址和端口号信息, 形成客户端响应分组, 然后发送到客户端。

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60503044)

**作者简介:** 姜秀艳(1974-), 女, 讲师, 主研方向: 网络多媒体; 叶德建, 副教授; 孙浩峻, 硕士研究生

**收稿日期:** 2006-09-25 **E-mail:** dejianye@fudan.edu.cn

在内网中,任何一台计算机的 IP 地址是一个临时的,即内网外部的机器无法识别这个 IP 地址。内网的某台计算机点播 ClearServer 服务器时,根据客户端发送到服务器端分组中包含的 IP 地址形成的响应分组,无法到达客户端。本文要找到内网客户端的“地址”,使流媒体服务器能够根据这个“地址”找到客户端,将流媒体数据发送到客户端。

### 3 ClearNat 方法描述

NAT(network address translation)是一种网络地址解释协议,将由内网地址传出去的封包进行 IP 转换,使内网机器能与有公网 IP 的机器进行通信。NAT 服务器一般运行在网关机器上执行 NAT 功能。在局域网中的没有公网 IP 的客户端,为了支持其应用,需要为内网机器的客户端进行地址和端口的映射,以使流媒体服务器能将媒体数据经过 NAT 服务器发送到内网机器的播放器上,如图 1 所示。

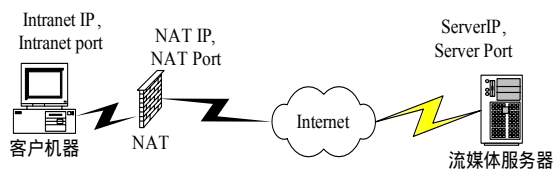


图 1 NAT 点播

在图 1 中,对于流媒体服务器来说,内网的客户机器的 Intranet IP 和 Intranet Port 是不可见的;只能得到对应于 Intranet IP 和 Intranet Port 的 NAT IP 和 NAT Port(即公网 IP 和端口号)。服务器向客户机器发送数据只能向对应的 NAT IP 和 NAT Port 发送,由 NAT 服务器进行转发。流媒体服务器首先需要知道同客户机器的视频 RTP 端口和音频 RTP 端口对应的 NAT Port,才能将视频数据和音频数据发送给客户机器。

为了得到客户机器的 NAT 端口映射关系,首先需要客户机器在进行点播之前向流媒体服务器发送一个数据包,确定端口映射关系,这样在客户同服务器的 RTSP 交互结束后,服务器才能知道如何向客户发送视频和音频数据。

ClearServer 采用的应用层协议是 RTSP 协议,同时采用 RTP 和 RTCP 协议。在点播 ClearServer 时,要建立客户端到服务器端的会话,每个会话由音频和视频通道组成,每个通道都要有 RTP 和 RTCP 进程。每次点播流媒体服务器上的多媒体文件时有 4 个进程,需要有一组 4 个端口与进程对应。

采用 ClearNat 方法确定 NAT 端口映射关系的具体设计方法如下:

(1)客户通过网页点播文件,首先需要安装一个 OCX;然后在每次点播文件时由 OCX 绑定本地的 5 组端口(每组端口对应一次点播 ClearServer 启动 4 个进程,5 组端口意味着一个客户端最多同时启动 5 个点播窗口)并向流媒体服务器的 8888 端口发送 NAT 数据包。数据包中包含客户机器的内网 IP、绑定的端口、需要点播的文件名、用户名等。

(2)流媒体服务器中 Clearnat 程序在 8888 端口接收 NAT 数据包,并将内网 IP 和 4 个端口同 NAT IP 和 NAT 端口对应起来,发送给服务器。这样,每个内网的客户机器点播一次文件就需要发送 20 个 NAT 数据包给流媒体服务器,共可以确定 5 个端口对应组合。

(3)服务器接收到 Clearnat 发送过来的 NAT 端口对应组合信息后,首先到自己的 NAT 端口对应组合表中查询是否有相同的记录,如果有相同的记录,则丢弃 NAT 端口对应组合信息。如果表中有同一台内网机器的端口对应信息,但是要点播的文件不同,那么就判断新的 NAT 端口对应信息所绑定的内网端口是否大于已有的端口,

如果大于,则将新的 NAT 端口对应信息保存到表中;否则,则丢弃。

(4)每次请求服务器播放时,首先查询 NAT 端口对应组合表,如有对应信息则修改命令中的 IP 和端口。

(5)在某个客户机器的点播结束后,在流媒体服务器接收到 RTSP 交互信息的 TEARDOWN 信息后,从表中删除 NAT 端口对应信息。

## 4 ClearNat 方法性能分析

### 4.1 ClearNat 方法设计的优缺点

(1)每次通过网页进行点播,OCX 都需要绑定本地的 20 个端口,并发送 20 个 NAT 数据包,数据量有些大。但是可以建立多个端口组(一组有 4 个端口)的 NAT 对应关系,可以在同一台机器上同时点播多个不同的文件。

(2)考虑到 UDP 通道的 NAT 端口映射有一定的时限,采用以上的方式进行端口映射可以保证每次进行点播都能得到最新的 NAT 端口映射。

(3)这种方式假设在客户机器 5 组 20 个端口都没有被占用,同时用 QuickTime 点播多个文件时,RTP 端口依次取这 5 组端口中的一组。虽然 RTSP 交互在一般情况下是按照这种顺序确定 RTP 端口的,但是一旦其中的某些端口被其他程序占用,QuickTime 同流媒体服务器协商的 RTP 端口组就不遵守这个规律。在一般情况下,这 5 组端口被占用的情况比较少,特别是在用户进行点播的时候很少会用其他的网络程序来占用这些端口。

### 4.2 对原系统的影响

本文专门设计了一个程序用于在 8888 端口接收 NAT 数据包,并对数据包的信息进行解析和处理,确定 Intranet IP、Intranet Port 与 NAT IP、NAT Port 的对应关系。ClearNat 将确定好的 NAT 端口对应关系传递给服务器程序。

在服务器程序中加入了一个对“NAT 端口对应关系”进行存储、查找和删除的类,使用方法同原有类的接口方式基本相同,可以在现有的服务器框架中得到应用,ClearNat 对流媒体服务器的其他功能没有影响。

### 4.3 性能指标

#### (1)复杂度

由于对 NAT 信息包的解析和处理、端口映射等大部分操作都在一个单独的 ClearNat 中进行,因此服务器只需要进行查表操作,对每个用户的 RTSP 信息确定对应的 NAT IP 和 NAT 端口,并修改发送给播放板的端口号和 IP。计算复杂度只需要考虑加入对 NAT 的支持之后,查表操作和修改端口号的操作的计算复杂度。

对信息表的查询和对端口和 IP 的修改部分的计算复杂度为:每个客户 RTSP 信息进来,服务器程序都会执行一次查表和修改 IP 和端口等操作。其中占用 CPU 最多的是查表的操作,计算复杂度为:

如果 N 个客户端全部通过网页进行点播,表中共有 N 个节点。设每个客户的平均观看时间为 30min。每个客户在其点播过程中平均进行 10 次 RTSP 交互,则每秒钟由处理 NAT 信息所引起的计算有:

$$N/180 * \text{加减计算次数} + N * N / 360 \text{ 次(对比节点)} \quad (1)$$

即计算复杂度为  $O(N^2)$ 。

#### (2)处理时间

在 NAT 信息处理中,比较占用 CPU 时间的操作是对信息表的查询和处理操作,下面就信息表查询操作所需的 CPU 时间进行测试。测试环境为:处理器为迅驰 1.5GHz;内存 512MB;操作系统为 WindowsXP。

经过测试, 结果见表 1。

表 1 查询表操作所需 CPU 时间

节点数	500	10 000	50 000	100 000	1 000 000
遍历时间	<1ms	<1ms	偶尔 10ms, 一般<1ms	偶尔 10ms, 一般<1ms	偶尔 30ms, 一般 20ms

从表 1 可以看出, 对 NAT 端口映射表的查询和处理等操作所需时间非常少, 即使 NAT 端口映射表中的节点数目达到 10 000, 做一次查询和处理所需的时间也基本上小于 1ms。

### (3) 并发数的影响

从表 1 可以看出, 查表操作所需时间比较少。根据表 1、式(1), 当  $N=10\,000$  时, 所需时间为  $10\,000/360 \approx 30\text{ms}$ 。

此时, 客户数目就不能再增加了。这时并发数不能超过 10 000。

由于假定每个客户都是内网用户、通过 NAT 服务器进行视频点播, 因此该并发数可能会比实际可能达到的并发数还小一些。

## 5 实验与测试

(1) 在一个机器上用 QuickTime 点播多个文件, 判断多个点播请求对应的 RTP 端口号。在第 1 个 QuickTime 点播时, 音频 RTP 端口为 6974, RTCP 端口为 6975; 视频 RTP 端口为 6972, RTCP 端口为 6973。QuickTime 进行点播时, 端口号依次递增。

(2) 在创建客户端和服务端会话时, 先使用 SETUP 音频通道, 再启动 SETUP 视频通道。

(3) NAT 服务器的网卡为 100MB, 与公网网卡相同。内

(上接第 191 页)

集上的分布情况。这几种方法间的差异性很小, 而 EWANN 方法相对鲁棒, 与近来提出的方法相比有一定优势。

表 3 分类平均错误率

	Iris	Heart	Diabltis	Cancer
EWANN	5.8	24.4	24.3	23.6
SNN	5.8	24.8	25.4	24.1
DANN	5.8	23.7	24.8	22.7
Morph	5.8	22.7	25.7	22.8
ADAMENN	5.8	22.9	25.0	25
LAMNN	5.8	24.0	24.8	23.1

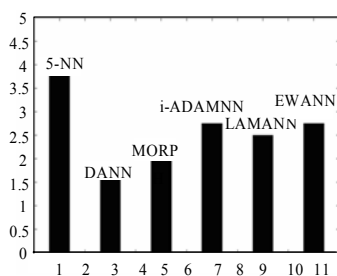


图 4 平均错误率分布

LAMANNA 与以上其它自适应最近邻分类器相比, 具有最低的计算复杂度为  $O(l \log l + l_s n)$  [2]。而本文算法计算复杂度上界为  $O(l \log l + n)$ , 其中,  $l$  为所有  $n$  维训练样本的数量, 比 LAMANNA 更有效率, 并且易于多类分类问题。

## 7 结论

本文提出了一个新的可变尺度方法, 实现了高效的模式分类器。它使用 SECL 计算类的边界并将这些信息用于最近

外网卡之间的数据交换速率很快, 可以满足点播的需要。用内网机器通过 NAT 服务器可以同时点播多个电影, 播放效果正常。

在比较稳定的网络环境下进行点播测试, 一台机器可以通过 NAT 同时点播 3 个文件; 关闭这些文件之后再次点播也很顺利。反复用一台机器做点播测试, 结果都很正常, 与不经过 NAT 进行测试的效果是一样的。

## 6 结论

本文提出了一种基于 NAT 建立地址映射方法——ClearNat, 该方法要求客户机器在点播请求时先向流媒体服务器发送一个数据包, 确定内网 IP 和端口同 NAT IP 和端口映射关系, 并在服务器端维护这种映射关系。该方法解决了在内网客户点播流媒体服务器时, 服务器识别不出 IP 地址的问题。结果证明了该方法的有效性和良好性能。

### 参考文献

- 1 James F, Keith W. 计算机网络[M]. 申震杰, 王金伦, 杜江, 译. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- 2 Ahmed T, Mehaoua A, Boutaba R, et al. Adaptive Packet Video Streaming over IP Networks: A Cross-layer Approach[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2005, 23(2): 385.
- 3 Dejian Y, Cam B, Zixiang X, et al. Wavelet-based Smoothing of VBR Video Traffic[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2004, 6(4): 611-623.
- 4 叶德建. 流媒体系统的视频质量和发送速率控制研究[D]. 北京: 清华大学, 2003.

邻分类。实验结果清楚地表明, 对许多分类问题本算法确实提高了性能。

### 参考文献

- 1 Cover T M, Hart P E. Nearest Neighbor Pattern Classification[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1967, 13(1): 21-27.
- 2 Domeniconi C, Gunopulos D. Large Margin Nearest Neighbor Classifiers[J]. IEEE Transaction on Neural Networks, 2005, 16(4): 899-909.
- 3 Jing Peng, Heisterkamp D R. LDA/SVM Driven Nearest Neighbor Classifiers[J]. IEEE Transaction on Neural Networks, 2003, 14(4): 940-942.
- 4 Domeniconi C, Jing Peng. Locally Adaptive Metric Nearest Neighbor Classification[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 24(9): 1281-1285.
- 5 Hastie T, Tibshirani R. Discriminant Adaptive Nearest Neighbor Classification[J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(6): 607-615.
- 6 Kositsky M, Ullman S. Learning Class Regions by the Union of Ellipsoids[C]//Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on Pattern Recognition. 1996: 750-757.
- 7 Man-Wai Mak, Sun-Yuan Kung. Estimation of Elliptical Basis Function Parameters by the EM Algorithm with Application to Speaker Verification[J]. IEEE Transaction on Neural Networks, 2000, 11(4): 961-969.
- 8 Anagnostopoulos G C, Georgiopoulos M. Hypersphere ART and ARTMAP for Unsupervised and Supervised, Incremental Learning[C] //Proc. of IEEE-INNSENN International Joint Conference on Neural Networks. 2000-07: 59-64.