

面向嵌入式机顶盒终端的 P2P 网络电视直播系统的设计与实现

朱陈洁 叶德建

(复旦大学软件学院, 上海 201203)

摘要 针对当前 IPTV 直播应用中,集中服务模式对服务器性能和网络设施要求较高、可扩展性较差的问题,提出了一种基于 P2P(点对点)技术的直播系统 Clear Live。与现有的 P2P 视频系统只针对 PC 终端的情况不同,该系统主要面向 IPTV 应用,面向嵌入式机顶盒终端,并兼容 PC 终端。Clear Live 针对机顶盒终端的特点和 IPTV 应用的环境做了适当的和针对性的设计。实际系统测试结果表明, Clear Live 系统能在较低的硬件配置下为大量用户提供高质量的直播服务。

关键词 IPTV P2P 直播 机顶盒

中图分类号: TP37 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2007)10-1706-04

Design and Implementation of P2P Based Live Streaming System for STB Client

ZHU Chen-jie, YE De-jian

(Software School of Fudan University, Shanghai 201203)

Abstract IPTV live streaming systems with client-server based content delivery infrastructures cannot provide service to mass clients due to their high requirement of server hardware configuration and network bandwidth. This paper presents a P2P(point-to-point) based live streaming system-"Clear Live", which tries to achieve better scalability than client-server based system. While current popular P2P IPTV systems support only PC client, our system mainly supports STB client and is compatible with PC client. "Clear Live" is properly designed according to the characteristic of STB client and application environment of IPTV. The test result of system shows that "Clear Live" can provide high quality live streaming service to vast number of clients with low cost.

Keywords IPTV, P2P, Live Streaming, STB(set-top box)

1 引言

IPTV(internet protocol television)即网络电视,它集互联网、多媒体、通信等技术于一身,向成千上万的家庭用户提供包括数字电视在内的各种交互服务。传统的集中式服务模式需要布置大量服务器,并要求极大的出口带宽,所以整个系统的扩展性较差。而点对点(P2P)技术可以把服务器的压力分散到各个客户端上,提高了整个系统的可扩展性。在

直播系统中,同一频道的客户端所需数据具有相似性,采用 P2P 技术可有效地在客户端间分享数据。把 IPTV 中的直播系统与 P2P 技术结合,可有效降低系统运营成本。

传统的家庭用户习惯通过电视机来收看直播节目,目前流行的 P2P 视频系统如 PPLive^[1]、PPStream^[2]、TVAnts^[3]都是以 PC 为终端,还未发现成熟的以机顶盒加电视机为终端的系统。相对于 PC,机顶盒是弱终端,基于机顶盒的 P2P IPTV 系统的设计和部署也更加困难。本文介绍自主开发成功

基金项目:国家自然科学基金项目(60503044);上海市科技启明星人才计划项目(06QA14008)

收稿日期:2007-07-05;改回日期:2007-07-16

第一作者简介:朱陈洁(1981-),男,现为复旦大学软件学院硕士研究生。主要研究方向为网络流媒体。E-mail:042053016@fudan.edu.cn

的适用于机顶盒终端的P2P直播系统——Clear Live。

2 设计思想

2.1 几类典型P2P视频系统回顾

CoolStreaming^[4]是最早出现的P2P视频系统之一,在2003年运行期间最多有4000用户同时在线,证明了用P2P方式进行网络直播的可行性。后继的一些P2P视频系统(PPLive、PPStream、TVAnts等)更是可为数以万计的用户同时提供服务。

2.2 面向机顶盒的IPTV直播系统特点和要求

与一般P2P视频系统不同,IPTV系统通常由局部运营商进行商业运营和集中管理,这给系统带来3个特点:

(1) 中心节点(服务器)可靠性很高,有专门维护;

(2) 内容提供商会限制内容非法和大量传播,所以基本上每个系统规模不会很大,但是视频播放质量要求很高;

(3) 运营商需要集中掌握和管理各个用户的播放情况。这些特点使得P2P IPTV直播系统的设计不同于一般P2P视频系统。

另外,系统主要面向嵌入式机顶盒终端。这类终端是商用IPTV的主要终端,具有稳定性好、价格低的优势。但是机顶盒终端与PC终端相比,存储小,计算能力弱很多,需要P2P系统进行专门设计。

2.3 Clear Live的设计准则

针对面向机顶盒的IPTV直播系统特点和要求,系统采用集中管理的P2P模式,设计专用的节点管理算法和数据传输算法。

集中管理一方面可以将P2P管理功能从机顶盒上移到服务器,适合于计算能力差的机顶盒,另一方面,也便于运营商管理系统,符合商业运营需要。同时,IPTV系统的单系统规模不大和对中央节点的专门维护等特点又大大减轻集中管理的单点故障问题。

节点管理的一个主要任务是给客户端分配数据提供节点,本文的数据提供节点筛选算法是集中式的,由服务器粗粒度地为客户端选择合适的数据提供节点,在此基础上客户端根据实际情况做细粒度的调整。

本文的数据传输算法是分布式的,在节点间进行数据分发,在保证传输质量的前提下,尽量减小客户端各种资源的花费。

3 系统架构

Clear Live系统由服务器端和客户端两大部分组成,其中服务器端包括内容管理服务器、内容分发服务器和用户管理服务器,客户端包括浏览器、P2P节点内核和播放器。系统框架如图1所示。

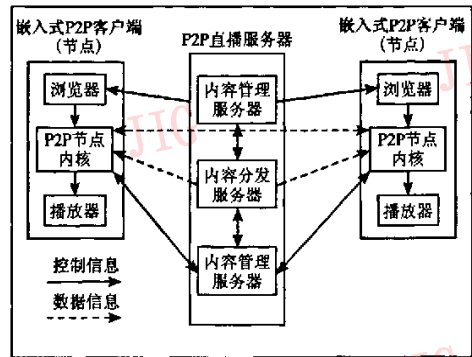


图1 Clear Live系统架构

Fig. 1 Architecture of Clear Live

各模块功能如下:

(1) 内容管理服务器 提供直播频道管理平台,自动生成频道信息发布网页。

(2) 内容分发服务器 将从原始数据源接收到的媒体数据打包,根据P2P数据传输协议把数据分发到直播网络中。

(3) 用户管理服务器 管理系统中的客户端,通过节点控制协议对客户端进行认证和注册,以及处理其他的客户端请求。

(4) 浏览器 提供界面供用户进行节目的浏览和选择。

(5) P2P节点内核 通过节点控制协议完成注册,通过P2P数据传输协议在节点间分发数据,并将接收到的数据提供给播放器。

(6) 播放器 从P2P节点内核获取数据,进行解码播放。

4 控制流程

(1) 在内容发布网页中,频道用超链接来表示,格式为“P2P://服务器地址/频道名”。用户选择频道后,浏览器通知P2P节点内核模块加入特定频道。

(2) P2P节点内核模块连接到直播服务器的用

户管理模块,进行注册,并请求加入频道。加入成功后 P2P 节点内核模块向用户管理模块申请获取数据提供节点列表,用户管理模块从当前频道的节点成员中选出一部分返回给请求节点,作为它的候选数据提供节点。

(3) P2P 节点内核模块与分配到的数据提供节点进行连接,通过 P2P 数据传输协议获得数据,并由播放器进行解码播放。

(4) 在数据传输的同时,节点对它的的数据提供节点进行能力评估,当发生正在传输数据的节点失效的情况时,需要把传输任务转移到能力最好的节点。

5 主要技术算法

P2P 直播系统要解决的主要问题是节点成员管理和数据传输。数据提供节点筛选和数据传输模式分别是这两者的核心部分。

由于系统主要面向机顶盒终端,算法必须考虑嵌入式弱终端上处理能力弱等特点。

5.1 数据提供节点筛选算法

拥有良好传输能力的数据提供节点,是客户端进行稳定传输和流畅播放的前提。

简单的筛选方法是服务器从所有节点中随机挑选出部分节点,返回给数据请求节点。但这种方法,不能保证选出理想的数据提供节点,原因有二:一是选出的数据提供节点可能因为负担较重,不能满足新的数据传输要求;二是数据请求节点与提供节点可能处在不同网络,而这些网络互相关连通能力不佳。因此,优良的数据提供节点筛选算法需要同时考虑节点空闲能力和底层网络拓扑。作为算法的准备条件,节点的空闲能力由客户端根据负载情况来判断并向服务器汇报,底层网络拓扑用数据结构记录在服务器中。

网络拓扑有如下特点:网络是树状层次结构;一个节点被包含在规模上从小到大、层次上从低到高的多个网络中;同一个网络内的节点,相互间的链路性能比较理想。

根据上述特点,为数据请求节点寻找数据提供节点时,优先在包含该节点的层次较低的网络中查找,以保证互相关较好的链路能力。数据提供节点筛选算法如图 2 所示。

待搜索网络序列的生成需要尽可能选择层次低的网络,是个自下而上的过程。用 $domain_i$ 表示包

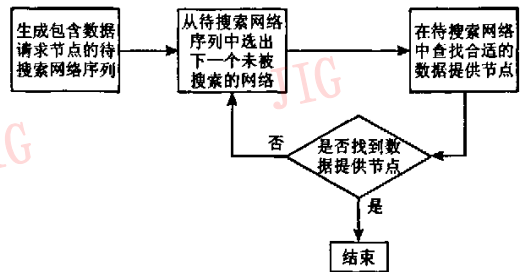


图 2 数据提供节点筛选算法流程图
Fig.2 Data supply node selection algorithm

含数据请求节点的不同层次的网络(i 为 $1, 2, \dots, i$ 越大网络层次越高), $domain_{i,j}$ 表示 $domain_i$ 的邻居网络(j 为 $1, 2, \dots, j$ 越小两者之间的网络链路连接性能越好)。按照层次从低到高、连接性能从好到差的次序形成互不包含的待搜索网络序列($domain_1, domain_{11}, domain_{12} \dots domain_{21}, domain_{22} \dots domain_{n1}, domain_{n2} \dots$)。在搜索网络中查找数据提供节点是个自上而下的过程,从指定的搜索网络开始,层层向下直到某个底层网络,该底层网络中有能力的节点可作为数据提供节点。通过该算法,可以得到一批与数据请求节点之间链路性能较好、有空闲能力的数据提供节点。

5.2 数据传输算法

P2P 直播系统中的数据传输模式的设计中,需要考虑传输稳定性、控制代价等因素。

在目前的 P2P 直播系统中,数据传输主要有两种方式,应用层组播(ALM)方式^[5]和数据块驱动(chunk-driven)的 P2P 方式^[4]。应用层组播的典型方式是在节点间构造应用层组播树,父节点把数据推送给子节点,是单数据源推数据的过程,如图 3 所示。数据块驱动的 P2P 方式是把数据切成数据块,每个节点与若干伙伴节点有联系,节点间定期发布自己的数据块可用状况,互相关交换数据块,是多数数据源拉数据的过程,如图 4 所示。

在 Clear Live 系统中,设计了多数数据源推数据的传输模式如图 5 所示。

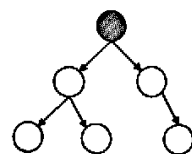


图 3 ALM 数据拓扑
Fig.3 ALM data topology

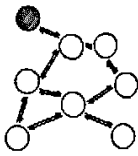


图 4 Chunk-driven 数据拓扑

Fig. 4 Chunk-driven data topology

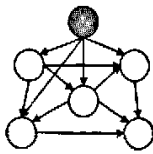


图 5 Clear Live 中的数据拓扑

Fig. 5 Clear Live's data topology

数据包被分配唯一递增序列号。客户端节点的传输任务是获得从初始序列号的数据开始的连续媒体流,它被分解成若干子传输任务。任务数目固定,子传输任务用唯一任务号来表示($0 \leq \text{任务号} < \text{任务数}$),子传输任务负责传输符合下面条件的数据包:(数据包序列号 - 初始序列号) mod 任务数 = 任务号。子传输任务会被分配到某个数据提供节点,由该节点来传输对应的数据包。

当数据提供节点离开直播网络或者与数据接收节点间的传输能力不足时,就发生了节点失效,失效率越高数据提供节点越不稳定。如果失效的数据提供节点承担着子数据传输任务,客户端需要进行任务迁移。任务重新调度的方法如下:对所有的数据提供节点按失效率和承担任务数进行排序,失效率低和任务数少的优先,选择最前面的节点,把受影响的子任务迁移到该节点上。

Clear Live 中采用推数据的方式,尽可能减少控制信息,花费在调度传输任务上的时间也很少,适合机顶盒计算能力弱的特点;采用多数据源的方式,提高抗干扰能力和对网络带宽的利用率,适合大规模应用。

6 测试结果

为检验系统的性能,在 2006 世界杯期间组织了初步的校园网内的小规模测试。根据实际情况,除了机顶盒客户端外,还开发了 PC 平台客户端,两种客户端混合运行。考虑到校园网较好的网络情况,系统采用 3Mbps 的码流。

测试期间最多有 200 左右用户同时在线。从表 1

数据来看,系统表现出较好的可扩展性,服务器压力相对于用户数的增长变化很小,用户数增长引起用户管理服务器负荷略微增加,由于内容分发服务器只承担固定的传输任务,服务器网络吞吐量基本不变。

表 1 服务器性能

Tab. 1 Server performance

用户数	服务器 CPU 占用率 (%)	服务器网络吞吐量 (Mbps)
50	约 8	约 12
100	约 8	约 12
150	约 9	约 12
200	约 9	约 12

对于性能较弱的机顶盒终端进行采样观测,如见表 2 所示,观看节目的时延在 20s 以内,播放很少出现停顿,CPU 使用率基本上在 40% 以下,达到了良好的收看效果。

表 2 机顶盒客户端性能采样

Tab. 2 STB clients' performance

机顶盒	播放时延 (s)	CPU 使用率 (%)	停顿次数
A	7	37 左右	0
B	11	35 左右	1
C	15	36 左右	0
D	19	31 左右	0

7 结论

本文提出了基于 P2P 的直播系统 Clear Live 的架构以及关键算法。测试结果表明,Clear Live 系统有较强的可扩展性,并且对客户端处理能力要求低,适用于机顶盒终端。Clear Live 最终需要在公网上运行,如何有效增强异构网络下的传输能力,提高网络资源的利用率,是我们后续的研究方向。

参考文献 (References)

- 1 pplive[EB/OL]. <http://www.pplive.com/>, /2007-05-29.
- 2 pstream[EB/OL]. <http://www.pstream.com/>, /2007-05-29.
- 3 tvants[EB/OL]. <http://www.tvants.com/>, /2007-05-29.
- 4 Zhang Xin-yan, Liu Jiang-chuan, Li Bo, et al. DONet/CoolStreaming: A data-driven overlay network for peer-to-peer live media streaming [A]. In: Proceedings of IEEE INFOCOM 2005 [C], Miami, Florida, USA, 2005; 2102 ~ 2111.
- 5 Tran Duc A, Hua Kien A, Tai Do, et al. An efficient peer-to-peer scheme for media stream [A]. In: Proceedings of IEEE INFOCOM 2003 [C], San Francisco, California, USA, 2003; 1283 ~ 1292.