

混合架构 IPTV 系统方案

于宏锦, 甘露, 刘新, 叶德建

(复旦大学软件学院宽带网络与互动多媒体实验室, 上海 201203)

摘要: 传统内容分发网络(CDN)互联网协议电视(IPTV)系统的部署和维护成本较高。为此, 提出采用 CDN 和对等(P2P)混合架构的 IPTV 系统方案。在原有系统基础上, 加入 P2P 技术, 对上海电信 IPTV 系统的实验数据加以分析, 设计节目热门度模型。实验结果表明, 该方案能降低系统开销, 提高系统的可扩展性, 使用该热门度模型后, 降低约 40% 的系统负载。

关键词: 互联网协议电视; 对等网络; 混合架构; 节目热门度; 系统模拟

Hybrid Architecture IPTV System Scheme

YU Hong-jin, GAN Lu, LIU Xin, YE De-jian

(Multimedia and Networking Laboratory, School of Software, Fudan University, Shanghai 201203, China)

【Abstract】 Aiming at the problem that traditional Content Delivery Network(CDN) architecture Internet Protocol Television(IPTV) system is expensive to deploy and maintain. Hybrid architecture IPTV system project is proposed. The original IPTV system of CDN architecture is merged with Peer-to-Peer(P2P). This paper analyzes the real data of shanghai telecom IPTV system, designs an approximate model of program popular degree. Experimental results show that, this scheme can cut costs and enhance the scalability, the model of popular degree get about 40% system load reduction as a result.

【Key words】 Internet Protocol Television(IPTV); Peer-to-Peer(P2P) network; hybrid architecture; program popular degree; system simulation

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.19.089

1 概述

随着互联网电视(Internet Protocol Television, IPTV), 即网络电视用户的迅速增长, 传统的内容分发网络(Content Delivery Network, CDN)架构已经不能满足需求, 采用 CDN 和对等网络(Peer-to-Peer, P2P)的混合架构, 既可以缓解服务器负载、减少开销, 又可以弥补 P2P 在 IPTV 应用中的不足, 已经成为新的研究热点^[1]。由于网络应用的实现代价较大, 为避免因失败而带来的损失, 最好先对设计的算法和方案进行模拟。IPTV 系统的一些特性使得更加有必要对新的方案进行模拟检验。

首先, 由于 IPTV 系统通常包含大量的结点, 并且可能逐年增加, 因此, 可扩展性是研究者必须验证的特性之一; 其次, 由于 IPTV 系统的终端节点是家庭用户, 通常不会长时间在线, 因此必须确保设计的方案能够处理结点的失败和连续的加入和退出。使用 OverSim 工具^[2]进行模拟, 并分析用户点播行为对系统的影响, 基于此, 本文描述一个特定的混合架构 IPTV 系统方案的模拟过程。

2 IPTV 用户节目点播热门度分析

节目点播热门度分布是对节目按照点播次数按由大到小进行排序, 从而得到的节目和点播次数相关的分布, 反映系统的用户行为特征。目前的研究结果主要基于 P2P 系统^[3]。通过与上海电信合作, 采集上海电信 IPTV 用户的点播数据, 从而分析国内典型的 IPTV 系统的节目点播热门分布。

分析数据完全基于点播记录, 涵盖从 2010 年 5 月 15 日-2010 年 5 月 21 日一周内全上海地区的用户。记录为点播话单的形式, 实验数据来自于每天的话单数在 200 万条左右的 14 多万个用户。

图 1 给出 5 月 15 日热门度分布情况, 其中, 横坐标为节目按热门度由高到低的排序; 圆圈表示节目点播热门度。

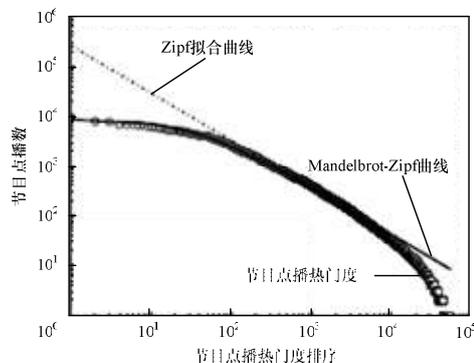


图 1 节目点播热门度分布(5 月 15 日)

根据图 1 曲线拟合的结果可以看出, 节目点播热门度分布近似 Mandelbrot-Zipf 分布, 定义节目 i 的概率为:

$$p(i) = \frac{K}{(i+q)^\alpha}$$

上式是 Mandelbrot-Zipf 分布的一般形式。其与 Zipf 分布的区别在于: 在曲线左上方的节目序列值最低的部分要平坦一些; 而在对数尺度下, Zipf 分布为直线, Mandelbrot-Zipf 分布为曲线。

归一化后结果为:

基金项目: 上海科技发展攻关计划基金资助项目(09511500902)

作者简介: 于宏锦(1985-), 男, 硕士研究生, 主研方向: 流媒体技术; 甘露, 硕士研究生; 刘新, 讲师; 叶德建, 副教授

收稿日期: 2011-04-25 **E-mail:** 082053029@fudan.edu.cn

$$K = 1 / \left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{(i+q)^\alpha} \right)$$

其中, N 为节目总数; α 为斜率因子; q 反映曲线头部的平坦程度。当 $q=0$ 时, 退化为 Zipf 分布。

通过分别对不同日期、不同区域, 以及以小时、服务器为单位的热门度分布的统计, 进一步验证节目点播热门度分布近似符合 Mandelbrot-Zipf 分布。

3 混合架构的 IPTV 系统

传统的 IPTV 系统一般采用 CDN 架构, 由多层服务器组成, 终端的区域服务器负责本区域的服务。由于开销和可扩展性等原因, 因此该架构已经难以满足用户数量迅速增长的需要。混合架构的 IPTV 系统, 通过在 CDN 架构基础上加入 P2P 技术, 可利用用户的闲置资源大幅降低开销。既利用已有的系统避免大幅改造的费用, 又利用 P2P 的良好的可扩展性, 以解决系统扩容的难题, 而且 CDN 和 P2P, 2 种分发方案还可以互为补充, 从而保证用户的观看质量。

3.1 系统结构

混合架构的 IPTV 系统的一个常见方案^[4]是在已有的 CDN 架构上划分合适的区域, 在区域内的用户之间实现 P2P 共享。这一方案类似于区域化 P2P 系统^[5]。在用户观看节目时, 尽可能地 from 区域内的其他用户那里获取资源, 而对于无法获取的较为冷门的资源, 可通过 CDN 的区域服务器获得。

还有一种类似的方案, 在整个 IPTV 系统的所有用户节点间实现 P2P 共享^[4], 这样可以进一步增加 P2P 服务的贡献比例。该方案的缺点是会造成区域间流量增加, 以及增大网络拥塞的可能。以下讨论主要针对前一种方案。

3.2 操作

在一个混合架构 IPTV 系统中最主要的网络操作一般包括: 登录, 用户登录到所在区域的服务器节点; 查找, 用户查找想要观看的内容; 下载, 用户下载所需资源; 更新资源列表, 服务器更新用户节点的缓存资源。

对应于具体采用的方案, 用户观看时获取资源的一般过程为, 首先用户登录并加入到网络中, 当用户请求资源时, 先向区域服务器发送查找请求消息, 然后服务器在资源哈希表中查找当前存储有该资源的节点。

这时有 3 种情况, 具体描述如下:

(1) 查找到有节点缓存该资源, 服务器向用户返回包含该资源的节点的地址, 用户向种子节点发送资源请求消息, 在成功连接后, 从该节点获取资源。

(2) 没有节点包含该资源, 但是其可以从区域服务器中获取, 服务器传送该资源给用户, 并更新缓存的计数。

(3) 没有节点包含该资源, 且区域服务器自身也未包含该资源, 这时需要先从上层服务器获取, 然后服务器更新缓存, 并传送该资源给客户。用户在获得资源后, 先更新自身缓存, 然后发送缓存的更新信息给服务器, 最后服务器对资源哈希表进行更新。

4 模拟模型描述

本节分别从系统模拟架构、节点之间的交互和 IPTV 系统用户行为 3 个方面具体描述本文模拟模型。

4.1 系统模拟架构

通过使用 OverSim 的底层因特网模型模拟真实的网络底层环境, 在覆盖层采用 Kademia 协议建立拓扑结构, 利用服务器和用户的实例在应用层实现系统构建。通信主要分为用

户操作对应的相关资源通信和因网络拓扑改变的拓扑结构通信。采用分层结构的系统模拟框架如图 2 所示, 其中, 应用层由很多服务器和用户组成, 用省略号表示; 应用层和覆盖层通过 KBR 接口连接; 覆盖层和底层网络由 UDP 接口连接; 全局观察器贯穿覆盖层和底层网络。

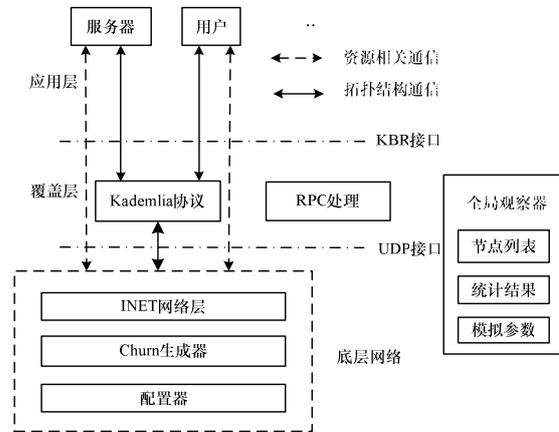


图 2 系统模拟框架

系统结构如 3.1 节描述, 对节点按区域进行分组, 形成一个基于服务器节点的 P2P 网络。具体将其划分为 5 个区域, 且每个区域包含一个服务器节点和 1000 个用户节点。拓扑的管理采用一种结构化的查找机制。在查找特定资源时, 用户发送查找参数给所在区域的服务器节点, 该服务器节点处理该查询。将服务器节点组成一个多播组, 这样服务器节点就可以找到其他服务器节点的资源。用户节点的 P2P 网络则能实现一个应用级别的多播服务, 并使用了 Kademia 多播。所有用户节点和区域服务器的节点都包含在一个 Kademia 结构化网络中, 每个节点有一个节点 ID(NodeID)和所在区域 ID(AreaID)。新用户节点通过联系一个区域服务器节点来加入网络, 后者根据网络拓扑和各服务器负载情况返回一个区域 ID, 用户节点使用结构化查找机制, 通过该区域 ID 可得到对应服务器节点的 ID。根据实际情况, 用户节点可能被调整到另一区域。在服务器加入或者重启时, 用户节点必须对同区域 ID 的节点发送其地址, 以保证结构化查找机制有效。

4.2 节点间的交互

由于覆盖层提供应用中节点的 IP 地址, 使用 UDP/IP 套接字的方法建立节点间的通信。具体有 2 种行为: 使用 bindToPort() 函数将节点绑定到一个本地端口来接收消息; 使用 sendToUDP() 函数来发送消息到一个特定的目的节点。

当区域服务器节点发生变动时, 需要向区域内用户节点发送服务器的地址, 并更新用户节点中的服务器地址列表。通过从应用层调用 route() 等 API 函数和覆盖层进行通信实现。混合架构 IPTV 系统通过在服务器保存的哈希表(存储代表资源的键和用户节点的键值之间的映射)实现资源的记录和查找, 并提供资源检索服务。该表提供相应接口实现一个简单的存储和检索功能。用户节点和资源检索服务进行交互是通过 Put 和 Get 请求消息, 以及对应的回复消息完成。其中, Put 消息更新资源存储信息; Get 消息获取关联于特定键的存储信息。故 IPTV 系统的模拟需要提供 HTRReqMessage 和 HTRRespMessage 消息用于和服务进行交互。

4.3 用户行为建模

为充分评估一个 IPTV 系统, 需要建立一个真实模型。需要指定查询的时间间隔、节目点播热门度、节点连接的时

间间隔、会话长度的分布、传输速率和节点的缓存策略等。

考虑到节点查询的行为特性，结合文献[6]的测量结果，得到查询间隔满足一个双峰分布，主体为对数正态分布， $\sigma=1.63, \mu=3.35$ ，尾端为 Pareto 分布， $\alpha=0.904, \beta=103$ 。

根据第 2 节的测量分析，节目点播热门度满足 Mandelbrot-Zipf 分布，设 $\alpha=1, q=10, N=20\ 000$ ，即节目(资源)数为 20 000 个。

节点连接的时间间隔和会话长度采用 Weibull 分布。参数通过 OverSim 的 ChurnGenerator 来设定。自动管理节点的生成和释放。节点在线时始终作为种子提供资源上传。

传输速率通过 OverSim 设定。节点的缓存策略采用 LFU 替换策略。每个用户节点可以缓存 5 个节目，每个服务器节点能够缓存 5 000 个节目，区域服务器上层的中央服务器存储全部节目的备份。

5 模拟结果

首先验证该 IPTV 系统模拟相对于用户点播热门度的有效性。结果表明模拟中不同节目的点播次数满足 Mandelbrot-Zipf 分布，符合设定条件。图 3 给出被点播的节目在用户所在区域内(不包括服务器节点)的概率变化，是通过计算区域内满足点播次数占全部点播次数的比例得到的。可见随着时间的增长，概率逐渐增加，并渐近于一个恒定的概率，这能保证系统达到稳态。同时表明模拟模型设定的参数保证新加入的节目，在平均 2 天~3 天的时间内可以完成推送。

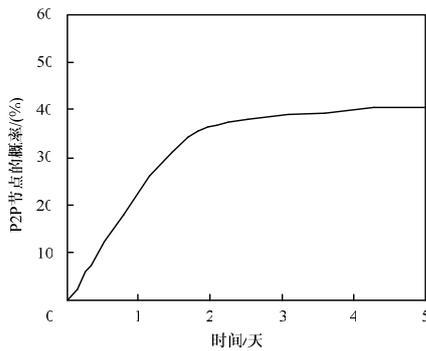


图 3 节目在区域内 P2P 节点的概率

图 4 给出系统达到稳态后，点播不同热门度的节目在区域内 P2P 节点找到的资源数，及其拟合曲线，用来反映用户节点的缓存情况。

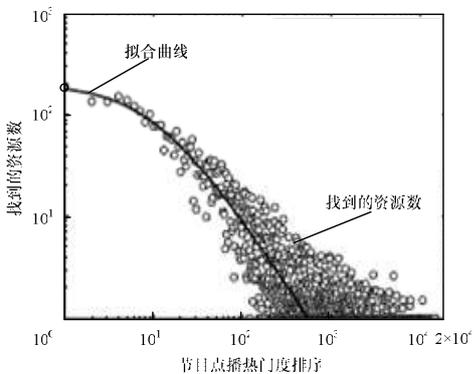


图 4 节目点播热门度和找到的资源数

从图 4 可以看出，随着节目点播热门度的下降，找到的资源数逐渐下降。从拟合曲线可以看出，当节目按热门度的排序达到 500 左右时，找到的资源数降为 1，因此对于更冷门的节目需要通过服务器进行补偿。这说明 P2P 服务对热门

节目的满足能力更好，从而得到服务器对冷门资源具有补偿的必要性。从进一步的模拟分析得出，上述的节目排序的临界值和节目点播热门度分布的参数 $\alpha、q$ 相关，同时还和节目数与所有用户的缓存总量的比值有关。图 5 给出节目点播热门度分别由 P2P 用户节点、服务器节点和中央服务器节点表示的贡献比例(部分采样点)，并给出了拟合曲线。

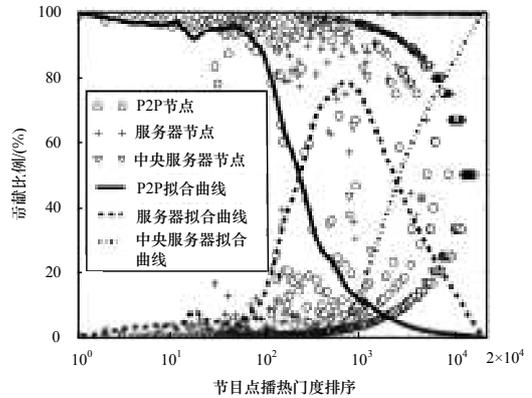


图 5 3种节点节目点播热门度的贡献比例

从图 5 可以看出，在资源贡献上按节目点播热门度来看，曲线呈现集中性，分别满足热门资源、中等热门资源和冷门资源。采用该模拟模型的混合架构 IPTV 系统比传统 CDN 架构的 IPTV 系统降低约 40% 的系统负载。

6 结束语

本文结合 IPTV 系统实际运营数据，提出 CDN 和 P2P 混合架构的 IPTV 系统方案。实验结果表明，节目在发布一定时间后会达到稳定状态，对于比较热门的节目，可采用 P2P 的方式为 IPTV 用户提供服务。在保证服务质量的前提下，该方案能减小 CDN 的部署与维护成本，对今后 IPTV 系统混合架构的实际应用具有借鉴意义。

参考文献

- [1] Xu Dongyan, Kulkarni S S, Cosenberg R, et al. Analysis of a CDN-P2P Hybrid Architecture for Cost-effective Streaming Media Distribution[J]. Multimedia Systems, 2006, 11(4): 383-399.
- [2] Baumgart I, Heep B, Krause S. Oversim: A Flexible Overlay Network Simulation Framework[C]//Proc. of the 10th IEEE Global Internet Symposium in Conjunction with IEEE INFOCOM'07. Alaska, USA: [s. n.], 2007.
- [3] Saleh O, Hefeeda M. Modeling and Caching of Peer-to-Peer Traffic[C]//Proc. of the 14th IEEE International Conference on Network Protocols. Santa Barbara, USA: [s. n.], 2006.
- [4] Meeyoung C, Rodriguez P, Moon S, et al. On Next-generation Telco-managed P2P TV Architectures[C]//Proc. of the 7th International Conference on Peer-to-Peer Systems. Berkeley, USA: [s. n.], 2008.
- [5] 宋启昌, 胡君, 王栋. 基于区域化的 P2P 流媒体直播系统模型[J]. 计算机工程, 2010, 36(1): 127-130.
- [6] Klemm A, Lindemann C, Vernon M K, et al. Characterizing the Query Behavior in Peer-to-Peer File Sharing Systems[C]//Proc. of the 4th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement. New York, USA: [s. n.], 2004.

