

一种基于聚类算法的 P2P 流媒体服务平台可视化 监控系统的设计与实现

戴 瑾¹, 谭良良², 王钦辉², 袁征帆¹, 叶保留²

(1 南京大学 金陵学院, 江苏 南京 210089; 2 南京大学 计算机软件新技术国家重点实验室, 江苏 南京 210049)

摘 要: 基于 P2P 技术的流媒体服务技术已得到广泛应用. 然而 P2P 流媒体服务系统中拓扑结构的动态性与用户行为的自主性使得流媒体服务质量面临挑战. 本文以南京大学研制的交互式 P2P 流媒体服务平台 NJUVoD 为背景, 基于协同过滤机制及聚类算法, 设计了一个面向 P2P 流媒体服务平台的可视化 Web 监控系统. 实现了对用户行为、拓扑结构、系统状态的在线分析, 为了解系统运行状况、优化系统性能提供了决策依据.

关键词: P2P 流媒体系统; 聚类算法; 缩放算法; 系统性能分析

中图分类号: TP399

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)12-0184-05

Design and Implementation of Visualized Monitoring System Based on Clustering Algorithm for P2P Streaming Services

DAI Jin¹, TAN Liang-liang², WANG Qin-hui², YUAN Zheng-fan¹, YE Bao-liu²

(1 Jinling College, Nanjing University, Nanjing 210089, China;

2 State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210049, China)

Abstract: With the advances of Peer-to-Peer (P2P) technology, streaming service was widely used over the Internet. However, the dynamics of overlay topology as well as the spontaneous behavior of users make it challengeable to improve the service quality. To address the above challenges, we design and implement a web monitoring system based on NJUVoD, an interactive P2P streaming service platform developed by Nanjing University. By using collaborative filtering mechanism and clustering algorithm, the web monitoring system could analyze the user behavior, topology structure and system status on-the-fly. In addition, it provides a tool for understanding the runtime status and optimizing the system performance.

Key words: P2P streaming system; clustering algorithm; scaling algorithm; system performance analysis

1 引言

随着互联网(Internet)的日益普及和宽带接入的广泛使用,网络流媒体服务已经成为互联网上的杀手级应用(killer application),并为诸多新兴的、流行的互联网应用(如网络电视、在线电影,远程教育等等)提供基础的服务支持. 多年以来,在互联网上提供高质量的流媒体服务一直是一项极具挑战性的任务,这缘于流媒体服务对传输带宽、传输时延以

及传输质量等近乎苛刻的高要求. 对等网络(Peer-to-Peer, P2P)技术^[1]的兴起,在不到 10 年的时间里迅速发展成为互联网上最具影响力的应用^[2]. 目前, P2P 网络已经成为大规模分布式数据共享的基础设施,并被广泛应用于流媒体数据分发^[3-6].

在典型的 P2P 流媒体服务系统中,用户节点一方面以客户身份向其他节点(或媒体源服务器)请求所需流媒体数据,另一方面也扮演服务器角色,向其他用户提供流媒体数据转发服务. 系统中用户节点

的动态性及用户行为的自主性加剧了 P2P 流媒体服务拓扑控制的难度,并直接影响服务质量.因此,如何“建立有效的系统监控机制,实时分析 P2P 流媒体服务系统中拓扑互联结构、用户行为关系、流媒体文件热点分布等动态行为,为优化系统部署、动态性能调优提供决策支持”已成为大规模 P2P 流媒体服务系统研制所关注的热点问题之一.

针对上述问题,本文以南京大学研制的交互式 P2P 流媒体服务平台 NJUVoD^[7] 为背景,基于协同过滤机制及聚类算法,设计了一个面向 P2P 流媒体服务平台的可视化 Web 监控系统,实现了对用户行为、拓扑结构、系统状态的在线分析,为了解系统运行状况、优化系统性能提供了决策依据。

2 NIUVoD 系统架构

2.1 系统结构设计

NJUVoD 以支持交流式流媒体服务为目标, 用户可以在任意时刻对任一视频源发起服务请求, 在服务过程中, 用户可以执行各种交互式操作 (如快进、快退), 并自由退出系统。为最小化交互式请求对服务器负载的影响, 提高系统的可伸缩性, NJUVoD 建立了基于缓存协作的自组织覆盖网络拓扑管理机制, 在参与节点之间实现流数据共享, 图 1 给出了 NJUVoD 的系统架构图。

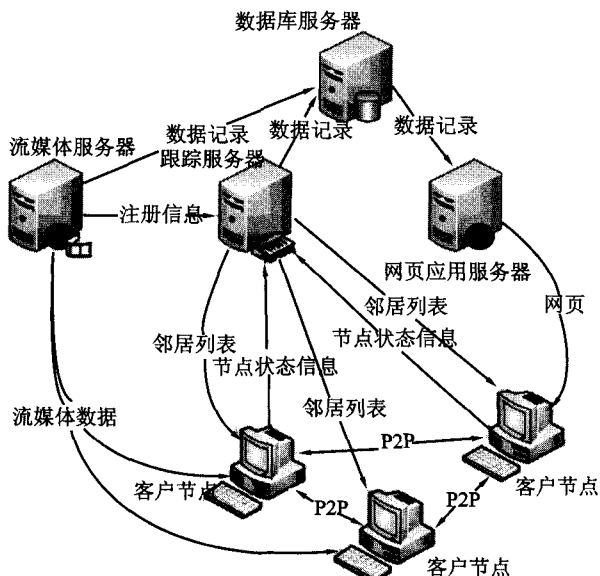


图 1 NJUVod 系统架构图

NJUVoD 流媒体服务系统实际上是一个基于缓存协作的系统,客户节点对收到的数据都需要进行缓存,维护各自的邻居列表。客户节点一方面从邻居节点下载数据提供给为播放器进行播放,另一方面需要把数据上传给其他有需要的邻居节点。当一

一个新节点需要加入 P2P 网络时,往往先向跟踪服务器请求邻居节点信息,然后新节点向这些邻居节点发出请求并建立连接.在成功加入 P2P 网络后,节点还需要不时通过 Gossip 机制向跟踪服务器发出请求获取新的邻居列表,以应对因失去与当前邻居节点的连接而导致下载带宽不足的局面.

2.2 软件模块设计

NJUVoD 系统包括 4 个子系统:流媒体服务子系统、跟踪子系统、监控子系统和客户子系统. 它们分别运行在流媒体服务器、跟踪服务器、Web 服务器和客户节点上.

其中流媒体服务子系统主要工作是为连接到它的客户端节点提供流媒体数据下载。如图 2 所示,当流媒体服务器启动时首先调用节目列表管理模块加载配置文件,然后调用媒体文件管理模块检查硬盘上的影片文件是否匹配。子系统内的媒体管理模块负责对影片文件的添加和删除,并且分析影片文件的格式以及播放时长等相关参数,最终生成节目列表,再由节目列表管理模块存储于硬盘配置文件中并把相关信息写入数据库。该子系统通过监听线程来响应跟踪服务器(Tracker)的连接请求和接收数据,并负责向跟踪服务器发送节目列表等信息,在节目列表有更新时发送新的节目列表。与客户节点通信模块采用线程监听一个 TCP 端口,收到客户的连接请求后采用 accept 机制建立与该节点的 TCP 连接,并将其封装成一个会话对象,负责处理与该节点的之后的所有交互。

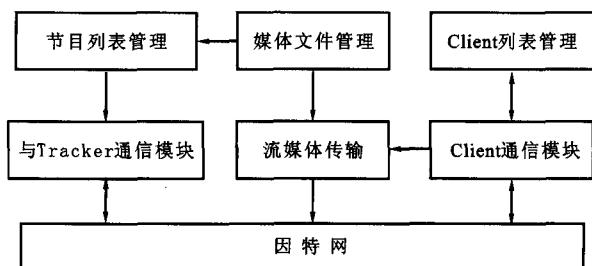


图2 流媒体服务子系统功能模块图

跟踪子系统主要工作是记录部分节点的信息,并为新加入的节点提供节点信息以使得节点能找到邻居节点从而加入 P2P 网络.图 3 是跟踪采集子系统的功能模块图.其中与 Server 通信模块会为跟踪服务器获得最新的节目列表.对于新加入的节点,节目列表是通过向跟踪服务器请求获得的,并同时请求获得流媒体服务器的 IP 地址和端口信息.跟踪服务器在接收到客户节点的连接请求之后主要有二部分工作:一是接收节点对邻居节点信息的请求;二是

选取部分邻居节点存储为代表节点。

监控子系统主要是提供一个网页的人机交互界面,方便管理人员能够随时查看系统运行状况.信息采集模块采集系统运行状态相关信息数据和影片信息管理相关的数据,并保存到数据库中.数据分析模块从数据库中获取数据并基于协同过滤机制及聚类算法,实现了对用户行为、拓扑结构、系统状态的在线分析.网页服务模块并通过一个面向 P2P 流媒体服务平台的可视化 Web 界面展示给用户。

客户子系统的设计目标是在客户节点上进行在线流媒体播放,并尽可能保证最大的播放流畅度. NJUVoD 通过建立 P2P 连接使得系统中的客户节点组成一个 P2P 覆盖网,每个节点都同时从覆盖网中下载和上传数据,来为系统中所有节点带来较高的用户体验.节点在刚加入了 P2P 网络时,通过 Gossip 的方式获得更多的邻居节点信息.节点中的数据请求模块负责调用播放器进行播放,并且基于播放器和缓存的状况进行数据预取,向 P2P 覆盖网中的邻居节点发送数据请求.节点读取缓存中的内容通过流媒体(Server)传输模块向 P2P 覆盖网中上传数据。

3 数据采集与管理

如图 3 所示,监控系统实时采集 P2P 流媒体系统中的影片信息,用户行为和系统运行状态等信息,并将采集到的数据信息以数据库存储方式合理存放.然后利用聚合类算法汇总进行分析,并实现基于 Web 的可视化显示.监控用户可以查看到系统负载、影片热度、在线客户的拓扑结构。

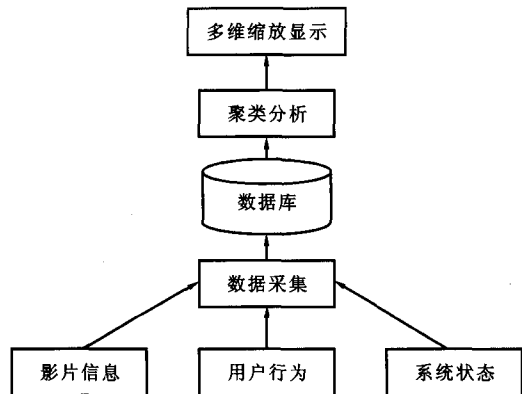


图 3 监控系统功能示意图

3.1 数据信息分类

监控系统采集到的数据分为影片信息、用户行为信息和系统状态信息三大类,其中影片信息包括分类的电影信息和影片清晰度信息,对电影进行分

类管理,根据用户的网络带宽状况选择影片清晰度版本,提高用户体验水准.用户行为信息包括影片点播情况、实时在线人数等信息,让管理人员可以随时查看多少人在什么时间段观看哪一类型的影片,以便对用户的行为作出相应分析;系统运行状态包括清晰度信息媒体服务器负载和 P2P 交互等信息;通过采集媒体服务器负载,绘制负载曲线图和客户端节点的拓扑结构,使得管理员可以实时查看 P2P 交互和掌握 P2P 技术所带来的效应。

3.2 数据信息存储

本系统以数据库作为数据存储的中心环节,从客户端、媒体服务器采集到的数据,经过一定的整理,保存到数据库中.随后应用 Web 服务从数据库中读取数据并对加以分析和统计,以网页的形式展示给监控用户.数据库的性能将对整个监视模块的工作性能造成直接影响。

4 基于聚类算法的可视化分析

在基于系统收集到的大量用户行为数据信息记录的基础上, NJUVoD 采用协作型过滤技术实现向用户推荐其可能喜爱的媒体源,并采用 K-mean 聚类算法和多维缩放技术,将在线客户端依相互之间数据流量的多少划分成组,并将用户和影片的相关信息直观地在网页上显示。

4.1 聚类算法设计

在数据分析模块中, NJUVoD 通过聚类算法将每一个客户端节点和其他客户端节点进行对比,并把结果按距离远近进行排序,得到与该客户端品味相近的一组客户端.假设某一个客户端看的较多的电影就是该客户端的使用者比较喜欢的电影,则监控系统就可以为该用户列出一个他没经过排名的,来自与某个客户端品味相近的那些客户端的电影,推荐给用户。

根据实际情况, NJUVoD 采用可 K 均值(K-Means)算法. K-Means 算法接受输入量 k ;然后将 n 个数据对象划分为 k 个聚类以便使得所获得的聚类满足:同一聚类中的对象相似度较高;而不同聚类中的对象相似度较小.聚类相似度是利用各聚类中对象的均值,所获得一个“中心对象”来进行计算的。

设待聚类的数据集:

$$X = \{x_i | x_i \in R_p, i = 1, 2, \dots, n\}$$

k 个聚类中心分别为 $z_1, z_2, \dots, z_k$. 用 $w_j (j = 1, 2, \dots, k)$ 表示聚类的 k 个类别,定义两个数据对象间的距离 D . 并定义属于同一类别的数据对象的

算术平均值为

$$Z_i = \frac{1}{N_i} \sum_{x \in w_j} x$$

(1)

目标函数为:

$$J = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} D(x_j, z_i)$$

(2)

本系统在进行数据聚类算法流程说明如下:

算法 1 K-Means 数据聚类算法

Require: 聚类个数 k 以及包含 n 个数据对象的数据集 X ;
Ensure: 满足目标函数值最小的 k 个聚类 $w_j (j=1, 2, \dots, k)$

1. 从 n 个数据对象范围内任意产生 k 个随机对象作为初始聚类中心

2. repeat

3. 根据每个聚类对象的均值(中心对象), 计算每个对象与这些中心对象的距离

4. 根据最小距离重新对相应对象进行划分

5. 重新计算每个聚类的均值(中心对象)

6. until 目标函数 J 取值不再变化

4.2 多维缩放可视化算法

为了能在二维空间内表示数据集的聚类情况, 利用不同客户端所对应的点的图上距离来指示它们之间彼此的差异, 采用多维缩放(multi-dimensional scaling, MDS) 技术其思想在于将特征 X 映射到低维空间, 使得每个观察点间的距离 D 近似保持不变. 多维缩放的优点在于: 有明确的几何意义; 针对距离矩阵进行计算, 可以对任意距离函数进行计算; 可以表明映射后的相似程度. 多维缩放具体算法流程说明如下:

算法 2 多维缩放算法

Require: 高维空间的数据集 X
Ensure: 原数据集映射到二维空间后的点集

1. 计算各数据项之间的距离, 为目标距离

2. 将所有数据项随机放置在二维图上, 并计算出各个数据项在图上的真实距离

3. repeat

4. 针对每两两构成的一对数据项, 将它们的目标距离与当前距离进行比较, 并求出一个误差值

5. 根据误差的情况, 按比例将每个数据项的所在位置移近或移远少许量

6. 重新计算每个聚类的均值(中心对象)

7. until 无法再通过移动节点来减少总体误差

5 系统实现

基于协作过滤机制的聚类算法和缩放算法, 通

过对 NJUVoD 系统中用户行为、拓扑结构、系统状态的实时采集和在线分析, 对 NJUVoD 流媒体服务平台实现了基于 Web 的可视化监控系统.

图 4 是通过聚类算法和多维缩放算法实现的在线客户聚类图, 它展示了展示客户端的拓扑结构, 用户可以使用鼠标拖拽来放大和还原该图中感兴趣的区域, 用户也可以刷新数据即从服务器获取最新客户端信息数据.

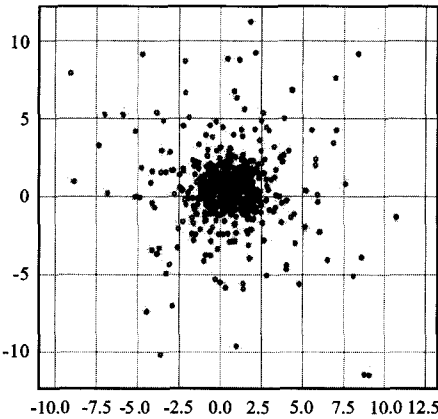


图 4 在线客户端聚类图

图 5 显示的是某部影片在某天内的热度分布图, 以影片时长为横轴, 根据 VCR 信息, 统计影片各段的用户关注度, 并以折线图的形式呈现出来.

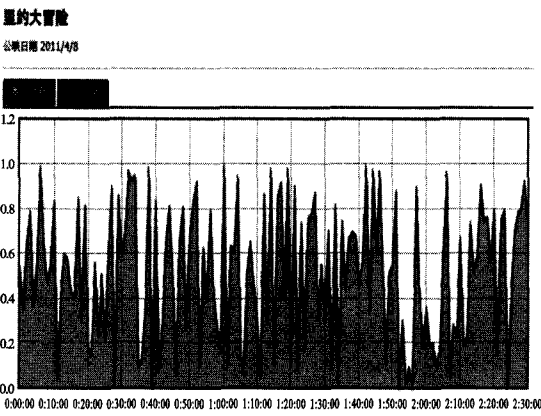


图 5 影片热度分布图

6 结束语

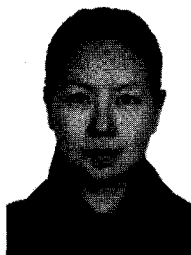
本文以南京大学研制的交互式 P2P 流媒体服务平台 NJUVoD 为背景, 基于协同过滤机制及聚类算法, 设计了一个面向 P2P 流媒体服务平台的可视化 Web 监控系统, 实现了对 P2P 流媒体服务系统运行过程中用户行为、系统信息、影片播放信息的在线分析, 为流媒体系统管理员提供了有效的监控手段. 在进一步工作中, 我们将结合用户行为、系统状态对流媒体服务系统中基于视频共享的用户社会关

联关系开展研究,为优化流媒体部署、提供个性化服务提供支持。

参考文献:

- [1] Andy Oram. Peer-to-peer; harnessing the power of disruptive technologies[M]. Oreilly, 2001.
- [2] 李振华. P2P 流媒体系统的若干关键属性的优化方案[D]. 南京: 南京大学, 2008.
- [3] Sripanidkulchai K, Ganjam A, Maggs B, et al. The feasibility of supporting large-scale live streaming applications with dynamic application end-Points[C]//SIGCOMM'04: Proceedings of the 10th ACM SIGCOMM, Portland, OR, USA: ACM, 2007.
- [4] Zhang X, Liu J, Li B, et al. CoolStreaming/DONet: A data-driven overlay network for efficient live media streaming[C]//INFOCOM'05: Proceedings of the 24th IEEE INFOCOM, Miami, FL, USA: IEEE, 2005.
- [5] Huang C, Li J, Ross K W. Can internet video-on-demand profitable[C]//Proceedings of the 13th ACM SIGCOMM, Kyoto, Japan: ACM, 2007.
- [6] Huang Y, Fu T Z J, Chiu D M, et al. Challenges, design and analysis of a large-scale P2P VoD system[C]//Proceedings of the 14th ACM SIGCOMM, Seattle, WA, USA: ACM, 2008.
- [7] 白伟. 面向交互式 P2P 流媒体服务平台的 NAT 穿越系统的设计与实现[D]. 南京: 南京大学, 2011.

作者简介:



戴 瑾 女, (1973—), 硕士, 讲师. 研究方向为分布式计算与并行处理.

(上接第 183 页)

- [3] 韦奋. 蓝牙无线通信模块设计[M]. 西安: 西安电子科技大学, 2008.
- [4] 毛文杰. 一种基于接收机整机噪声最佳的射频 LNA 匹配电路设计[J]. 电路与系统学报, 2002(09): 68-73.
- [5] Yaran B S, Carlin H J. A simplified "real frequency" technique applied to broad-band multistage microwave amplifiers[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2002, 30(12): 2216-2222.
- [6] 黄岸婕. 射频电路中匹配网络的选择和噪声系数的优化. 现代传输, 2008(10): 123-126.
- [7] 李丽. 无线传输系统中功率放大电路的设计[D]. 山西: 中北大学硕士论文, 2007.
- [8] 傅佳辉, 吴群. 微波 EDA 电磁场仿真软件评述[J]. 微波学报. 2004(2): 23-25.
- [9] 李丽, 廖海洲. 基于 Ansoft Designer 的射频功放电路阻抗匹配优化设计[J]. 电子技术应用, 2008(12): 67-70.

作者简介:



宋燕辉 女, (1978—), 硕士, 讲师. 研究方向为 3G 射频技术、下一代移动通信关键技术.

李 丽 女, (1982—), 硕士, 讲师. 研究方向为无线通信、移动通信.

苏 钢 男, (1971—), 博士, 副教授, 硕士生导师. 研究方向为未来移动通信关键技术.

余文奇 男, (1976—), 博士, 副教授. 研究方向为 3G 技术、计算机网络.