

# 基于网络编码的 P2P 流媒体直播系统研究

周红敏, 孙名松, 唐 亮

(哈尔滨理工大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

**摘 要:**针对目前存在的 P2P 流媒体直播系统不能充分利用网络资源的问题,提出了一种基于网络编码的 P2P 流媒体直播方案。该方案充分利用了 Peer 节点的计算能力,即在对媒体数据进行存储转发前先进行网络编码,以提高数据块的下载速率以及节省网络带宽资源。实验结果表明,在同等网络状况下,利用了网络编码后节点的播放质量有了明显的改善,尤其是在网络状况不好的情况下改善更为明显。

**关键词:**P2P 网络;流媒体直播;网络编码

中图分类号:TN919.85

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2008)06-0225-03

## Research of P2P Live Streaming System Based on Network Coding

ZHOU Hong-min, SUN Ming-song, TANG Liang

(Coll. of Computer Sci. and Techn., Harbin Univ. Sci. and Techn., Harbin 150080, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of the existed P2P live streaming systems that are unable to utilize network, proposes a scheme for peer-to-peer live media streaming that utilizes network coding. The scheme takes full advantage of ability of nodes to execute network coding and store-and-forward operation on the passed data, and thus improve transfer ratio of data block and save network bandwidth resource. The experimental result shows that the quality of playback has been improved apparently after using network coding under the same network condition.

**Key words:** peer-to-peer network; live media streaming; network coding

## 0 引言

近年来,基于 P2P(Peer-to-Peer)的流媒体技术成为人们研究的热点,如 PPLive, PPStream, QQLive 等。它充分利用了客户机的空闲资源分发媒体流,在最大程度上降低发布端服务器和带宽的负载,使得千万级别的用户能够同时在线欣赏视频节目。但 P2P 网络中的 Peer 节点不仅对流经它们的数据具有存储转发能力,还可以对这些数据进行计算处理。利用节点的这种计算处理能力,对流经它们的数据进行某种编码的操作称之为网络编码<sup>[1]</sup>。

文中在对现有的 P2P 流媒体直播系统研究的基础上,提出了一种基于网络编码的 P2P 流媒体直播方法。其主要思想是在流媒体服务器分发数据前先对其进行合理分组,并在 Peer 节点存储转发过程中进行进一步的网络编码,利用网络编码的优势,加快接收端对媒体数据的下载速率,从而提高节点的播放质量。

收稿日期:2007-09-09

**作者简介:**周红敏(1980-),男,硕士研究生,研究方向为网络安全与网络应用;孙名松,教授,硕士生导师,研究方向为网络安全与网络应用。

## 1 系统方案设计与优化

图1给出了系统中 Peer 节点的系统架构图。从图1可以看出,该体系架构主要由三个重要模块组成:

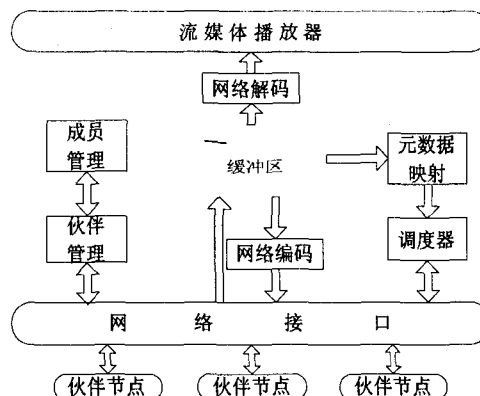


图1 Peer节点系统架构图

(1)网络编解码(Network Encoding and Decoding),其主要功能为对将要传递给其它节点的流数据进行网络编码,以及对将送往播放器的流数据进行网络解码。

(2)成员管理<sup>[2]</sup>与伙伴管理(Membership and Partnership Manager),其作用是让节点能够与系统中一定数目的成员节点建立起伙伴关系,并在运行过程中实

现对伙伴节点的淘汰和更新,同时也能适应伙伴节点的动态性。

(3)调度器(Scheduler),其主要功能是让 Peer 节点从多个伙伴节点实现对数据流的调度获取。

### 1.1 网络编解码策略

P2P 流媒体有其自身的特点,即边下载边播放,因此在 P2P 文件共享应用中使用的网络编解码策略<sup>[3]</sup>并不能直接应用于 P2P 流媒体。为此先对源服务器 S 产生的数据进行如下处理:把视频流以 GOP(Group of Pictures)为单元划分为若干个组,并给每组按其产生的先后顺序赋予一个全局组标识;而对于每组数据,则按大小等分的原则分割成  $N(N > 1)$  个数据块  $B_1, B_2, \dots, B_N$ ,每块数据对应一个  $N$  维的系数向量;对数据块  $B_i(1 \leq i \leq N)$  而言,其系数向量中元素值的定义如下:除第  $i$  个分量的值为 1 外,其余分量的值均为 0,标记  $B_i$  所对应的系数向量为  $e_i$ 。按照上述对数据块系数向量的定义,对每组数据而言,其所有数据块的系数向量实际上组成一个  $N \times N$  的单位矩阵。当对源服务器上的流数据采取上述划分及编码策略后,对每个数据块而言,其数据格式演变成图 2 所示的格式形式,这表明编码后的每个数据块有一个  $N$  维系数向量与其对应,同时也需要标记该数据块属于哪个分组。

组标识	$N$ 维系数向量	数据块
-----	-----------	-----

图 2 网络编码时数据块格式

对每个数据块,定义图 2 中的前两部分为该数据块的元信息(Metadata)。以下描述中,如不加特殊说明,所指向数据块均属于同一分组。

数据块在节点间的编码及传输过程如下:首先对于源服务器 S 而言,如果节点 A 向其请求传输一个数据块,则由 S 首先产生  $N$  个随机数  $r_1, r_2, \dots, r_N$ ,并组成一个  $N$  维向量,随后按向量  $(r_1, r_2, \dots, r_N)$  以及数据块  $B_1, B_2, \dots, B_N$  的内容生成一新的数据块  $E = r_1 B_1 + r_2 B_2 + \dots + r_N B_N$ ,同时也按向量  $(r_1, r_2, \dots, r_N)$  以及该组中数据块系数向量  $e_1, e_2, \dots, e_N$  生成一新的系数向量  $\alpha = r_1 e_1 + r_2 e_2 + \dots + r_N e_N$ ,接着 S 把相关组标识、系数向量  $\alpha$ ,以及数据块  $E$  传个节点 A。同理如果节点 A 再向 S 请求下一个数据块  $E'$ ,则 S 会按类似的操作生成一个数据块  $E'$ ,及对应的系数向量  $\alpha'$ ,并把它传给节点 A。如果节点 A 收到一个数据块请求则会有同样的操作。

数据块在节点的网络解码过程如下:对任意数据组而言,如果节点所缓存的属于该组的数据块个数达到  $N$ ,而且这  $N$  个数据块所对应的系数与线性无关,则可以根据这  $N$  个数据块及其所对应的  $N$  个系数向

量恢复出原始的  $N$  个数据块。

### 1.2 成员与伙伴管理

系统中,每个节点都有自己的一个唯一标识符,比如可以是它的 IP 地址,并且维护一个缓存(mCache)保存其成员节点的信息。在一个简单的节点添加算法中,新加入的节点 A 首先去和源服务器节点联系,源节点会从自己的 mCache 中随机选择的一个节点 P 作为 A 的代理节点, A 再与 P 联系,并获取 P 的 mCache 中的节点作为自己 mCache 中初始节点,随后 A 再与这些初始成员节点建立伙伴关系。

节点间的成员关系主要通过每个节点的 mCache 来体现。每一个节点周期性地生成一个成员消息(Membership Message)来说明自己是一个活跃节点(Active Node)。成员消息的格式为  $\langle \text{seq\_num}, \text{id}, \text{num\_partner}, \text{time\_to\_live} \rangle$ ,其中,seq\_num 表示该信息的序号;id 表示节点的标识符;num\_partner 表示节点当前拥有的伙伴数量;time\_to\_live 表示本条信息剩余的生存时间。成员消息由 Gossip 协议<sup>[4]</sup>来传送,每个节点在 mCache 中随机地选择几个节点发送成员消息,收到此消息的节点同样在本地 mCache 中随机地选择几个节点转发此消息,消息中有 hop 数信息,每次转发将 hop 数减 1,直到 hop 数为 0 时不再转发。

每个节点周期性地扫描本地的 mCache,将每个节点对应的 time\_to\_live 更新,更新方式采用  $\text{time\_to\_live} - (\text{current\_time} - \text{last\_update\_time})$ ,如果发现更新后的 time\_to\_live 小于 0,说明此节点信息已经过期,则将其从 mCache 中删除。对于这种情况不主动发送退出消息。

mCache 中保存的是节点信息,但是需要从 mCache 中选取节点作为伙伴节点,伙伴节点之间交换数据元信息,获取 stream 片断。每个节点对应的 num\_partners 由自己维护,当本节点的伙伴节点发生变化时,更新本地的 num\_partners 数目,其它节点的 num\_partners 数目当接收到其它节点发来的周期性 Membership 消息时更新(Membership 消息中是带此节点的 num\_partners 数目的)。为了保证数据传输的稳定性,节点周期性地从 mCache 中取出一些节点并与之建立新的伙伴关系。

### 1.3 数据调度算法

首先假设节点已经有  $M$  个伙伴,对于 Peer 节点的伙伴节点,数据调度算法的任务是决定该 Peer 节点应该从哪些伙伴节点获取哪些数据块,以便在每个数据块播放之前都能被解码;如不能全部及时解码,则应使不能被及时解码的数据块个数最少。调度算法应满足两个约束:

- (1) 每个伙伴节点所能提供的数据块范围的约束;
- (2) 节点与伙伴间的可用传输带宽的约束。

由于上述两个约束均随着直播进度的推进而动态发生变化,且在 Peer 节点上每隔一定时间段均要运行一次数据调度算法,因此,算法的快速有效就相对比较重要。这里提出了一个启发式算法,相对而言它具有较好的时效性。算法的主要思想如下:按播放的先后顺序依次对每个 GOP 进行调度,对每个 GOP,如果其数据块所对应的系数向量矩阵的秩数小于  $N$ ,则根据伙伴节点数据块元信息依次从伙伴节点请求数据块,直到其矩阵的秩数达到  $N$  或伙伴节点轮询完为止。由于篇幅限制这里没有给出具体算法过程。此外为了让节点在播放过程中维持并改善质量水平,在每个节点上建立伙伴淘汰机制,即每隔一定时间对从每个伙伴节点请求获取的数据块数目进行统计,当数据块数目小于某个下限时,将该节点从其伙伴节点列表中删除,并从系统中搜索查找新节点以便把新节点加入到伙伴节点列表。

## 2 实验结果分析

一般而言,维持播放的连续性是流媒体应用的首要目标。为了对系统进行评估,引入定义播放连续度(playback continuity index),它是在一段时间内得到的播放(即在播放 Deadline 之前到达 Peer 节点)数据块个数与应该播放的数据块个数的比值。播放连续度的值位于 0 和 1 之间,播放连续度的值越大,说明节点播放质量越好。在实验中,与 CoolStreaming<sup>[5]</sup>调度方案进行了比较,二者的相同之处是都采用了 Gossip 协议进行构造覆盖网;不同之处是 CoolStreaming 中 Peer 节点仅对数据块进行存储转发,而本系统是在转发之前先对其进行网络编码。实验环境设置如下,网络上行/下行带宽均为 512kbps,默认流速率为 500kbps。

图 3 给出了不同伙伴节点个数情况下,采用/不采用网络编码两种情况播放连续度的比较,其中 X 轴代

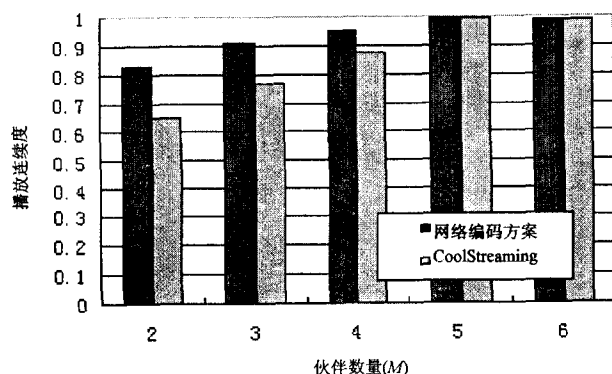


图3 不同伙伴数下播放连续度比较

表伙伴数量, Y 轴代表播放连续度。从图 3 可以看出,采用网络编码后 Peer 节点的播放质量均有不同程度的改善,特别是当伙伴节点数较少时这种改善更为明显。当伙伴节点数到达一定程度,如  $M=5$  时,二者的播放质量相差不大,这是因为对于 Peer 节点而言,其伙伴数越多,可为其提供数据的节点也就越多,从而可以获得更好的播放质量。特别是当伙伴数为 5 时,二者播放连续度均可达到 0.99 以上。

在同等实验参数条件下为比较采用/不采用网络编码两种模式下 Peer 节点获取数据块的速率,定义 Peer 节点缓冲区填充率(Buffer filled ratio)为 Peer 节点缓冲区中数据块的个数与缓冲区大小的比值,其中缓冲区中的数据块为那些已从邻居节点获取但还未得到播放的数据块,缓冲区大小为播放启动延迟与流速率的乘积。缓冲区填充率反映了 Peer 节点实际所获得的有效下载速率,一般情况下,缓冲区填充率越大,将会使得 Peer 节点的播放质量越好。

图 4 给出了不同伙伴节点个数情况下,采用/不采用网络编码两种情况缓冲区填充率的比较,其中 X 轴代表伙伴数量, Y 轴代表缓冲区填充率。从图 4 可以看出,采用网络编码后 Peer 节点实际所获得的下载速率均能得到一定程度的提高,这种现象实际上可对应解释图 3 中采用网络编码后 Peer 节点的播放质量能够得到改善的原因。

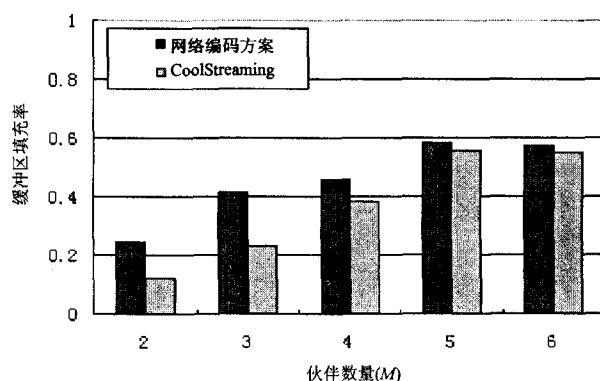


图4 不同伙伴数下缓冲区填充率比较

## 3 结束语

通过对目前流行的 P2P 流媒体系统进行分析,提出了一种基于网络编码的 P2P 流媒体直播方法。该方法在对媒体数据进行存储转发前先进行网络编码,充分利用了节点的计算能力。在同等网络环境下,节点播放质量有明显改善。文中提出的方案另外一个优势就是每个节点所实施的网络编码操作与 P2P 覆盖网结构无关,而 P2P 网络中节点的频繁加入和退出会

(下转第 232 页)

者可以获知访问者的个人爱好,更加充分地了解客户的需要,根据每一类(甚至是每一个)顾客的独特需求提供定制化的产品,有利于提高客户的满意度,最终达到留住客户的目的。

d. 挖掘潜在客户。通过分析和探究 Web 日志记录中的规律,可以先对已经存在的访问者进行分类,确定分类的关键属性及相互间关系。然后根据其分类的共同属性来识别电子商务潜在的客户,提高对用户服务的质量。

e. 延长客户驻留时间。在电子商务中,为了使客户在网站上驻留更长的时间就应该了解客户的浏览行为、知道客户的兴趣及需求所在,并根据需求动态地向客户做页面推荐,调整 Web 页面,提供特有的一些商品信息和广告,以使客户满意。

f. 降低运营成本。通过 Web 挖掘,公司可以分析顾客的将来行为,进行有针对性的电子商务营销活动;可以根据关心某产品的访问者的浏览模式来决定广告的位置,增加广告针对性,提高广告的投资回报率;可以得到可靠的市场反馈信息,降低公司的运营成本。

g. 增强电子商务安全。Web 的内容挖掘还包括挖掘存有客户登记信息的后台交易数据库。客户登记信息在电子商务活动中起着非常重要的作用,特别是在安全方面,或者在对客户可访问信息的限制方面。

h. 提高企业竞争力。分析潜在的目标市场,优化电子商务网站的经营模式。根据客户的历史资料不仅可以预测需求趋势,还可以评估需求倾向的改变,有助于提高企业的竞争力。

#### 4 结束语

Web 使用挖掘技术是 WWW 技术和数据挖掘技术的结合,是当今世界上的热门研究领域,其研究具有广阔的应用前景和巨大的现实意义。对 Web 网站上

电子商务过程中产生的数据进行挖掘、发现知识,有利于信息的准确检索、个性化的信息服务、改进门户网站的设计、制定针对性的销售策略、构建智能化 Web 站点、提高网站的声誉和效益。总之,Web 挖掘有效地支持了电子商务中 CRM,ERP 和 SCM 等关键的商务流程,是电子商务营销创新的重要技术手段。

#### 参考文献:

- [1] 易观国际. 互联网研究系列报告: 电子商务(2006). [EB/OL]. 2006. <http://www.analysis.com.cn>.
- [2] Pitkow J. In search of reliable usage data on the WWW[C]//In: Proc of 6th Int'l World Wide Web Conf. Santa Clara, California: [s. n.], 1997.
- [3] Cumming G, Hits J, Isses M. A year watching the web[C]//In: Proc of 6th Int'l World Wide Web Conf. Santa Clara, California: [s. n.], 1997.
- [4] Perkowitz M, Etzioni O. Adaptive web sites: Conceptual cluster mining [C]//In: Sixteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence. Stockholm: [s. n.], 1999.
- [5] Madria S K, Bhowmick S S, Kngetal W. Research issue in web data mining[C]//Proc. of Data Warehousing and Knowledge Discovery, first Intel. Conf, DaWak'99. Birmingham: [s. n.], 1999: 303 - 312.
- [6] Zaiane O, Xin M, Han J. Discovering applying olap and data mining technology web access patterns and trends by applying olap and data mining technology on web logs[C]//In proceedings Advances in Digital Libraries Conference (ADL). Paris: [s. n.], 1998: 19 - 29.
- [7] 宋擒豹, 沈钧毅. Web 页面和客户群体的模糊聚类算法[J]. 小型微型计算机系统, 2001, 22(2): 229 - 231.
- [8] Zaiane O R, Han J. Resource and knowledge discovery in global information systems: A preliminary design and experiment [C]//In: Proc of KDD95. Montreal, Canada: [s. n.], 1995: 331 - 336.

(上接第 227 页)

使逻辑网络拓扑发生变化,因此这种无关性使得网络编码在实际的 P2P 流媒体系统中应用具有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] Ahlswede R, Cai N, Li S Y R. Network Information Flow[J]. IEEE Trans on Information Theory, 2000, 46(4): 1204 - 1216.
- [2] Ganesh A J, Kermarrec A M, Massoulie L. Peer - to - Peer Membership Management for Gossip - Based Protocols[J]. IEEE Transaction on Computers, 2003, 52(2): 139 - 149.
- [3] Gkantsidis C, Rodriguez P R. Network Coding for Large Scale Content Distribution[C]//In IEEE Incofom. Miami, FL: [s. n.], 2005.
- [4] Lin M J, Marzullo K. Directional Gossip: Gossip in a Wide - Area Network[R]. CS1999 - 0622. California: Univ. of California, 1999.
- [5] Zhang X, Liu J, Li B. CoolStreaming/DONet: A data - driven overlay network for live media streaming[C]//In: Znati T. Proc. of the IEEE INFOCOM. Miami: IEEE Press, 2005.