

# P2P 流量本地优化综合机制<sup>①</sup>

梁卓明, 黄伟强, 郑 凯

(华南师范大学 网络中心, 广州 510631)

**摘 要:** P2P 流量的飞速增长, 给自治网络(如园区网、校园网)的网络边界带来很大的流量压力。为减少 P2P 流量对网络关键应用的影响, 必须建立 P2P 流量的本地优化机制, 使 P2P 流量尽可能发生在自治网络内部, 缓解网络出口带宽的压力。自治网络的网络边界开始采用基于 DPI 的 P2P 流量识别技术, 对识别到的 P2P 流量加以限制。但这种方法只是简单地限制 P2P 应用, 将严重影响用户的流媒体点播体验。提出了一套网络边界 P2P 缓存机制和本地节点索引机制相结合的 P2P 流量本地优化策略。

**关键词:** P2P; 本地优化; 流量识别

## P2P Traffic Comprehensive Mechanism of Local Optimization

LIANG Zhuo-Ming, HUANG Wei-Qiang, ZHENG Kai

(Network Center, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

**Abstract:** The rapid growth of P2P traffic, to the autonomous network (such as the campus network, campus network) a great deal of traffic the network perimeter pressure. P2P traffic on the network to reduce the impact of critical applications, we must establish a local P2P traffic optimization mechanism, so that P2P traffic within the network as much as possible in self-government to ease the pressure on the network exit bandwidth. self-government began to use the network perimeter network of P2P traffic identification based on DPI technology, the identification of P2P traffic to be limited. However, this method simply restrict P2P applications, it will seriously affect the user experience for streaming media on demand. This paper presents a P2P caching network boundaries and local node index mechanism with the P2P traffic to local optimization strategy.

**Key words:** p2p; cache; local optimization; traffic identification

## 1 流量优化的模型和流程

### 1.1 流量优化模型

P2P 流量本地优化模型主要由流量识别器、本地索引服务器(Tracker)、缓存服务器(Cache)和受系统管理的所有 P2P 客户端节点(Peer)组成。如图 1 所示, 流量识别器、本地索引服务器和缓存服务器均以旁路的方式架设在网络边界, 在本地客户端节点与外部 P2P 网络之间承担中介的角色。

在该模型中, 流量识别器维护一个 P2P 网络流量特征库, 实时提取来自自治网络内部的网络流量的特征, 并与特征库进行匹配和识别, 把具有 P2P 流量特征的数据包重定向。

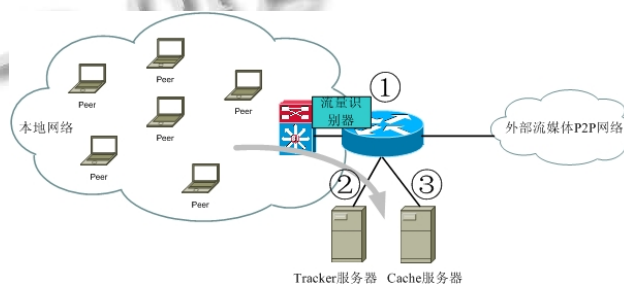


图 1 P2P 流媒体点播流量本地优化系统模型

### 1.2 流量优化流程

P2P 缓存服务器借鉴 HTTP 缓存服务器原理, 在本地网络边界对流媒体资源进行缓存。当某个流媒体

① 收稿时间:2011-05-05;收到修改稿时间:2011-07-12

对象被缓存服务器缓存后,以后本地网络内客户端节点请求相同的流媒体对象时,缓存服务器直接返回对象。由于相同的流媒体对象只需向外部网络请求一次(缓存请求)就可以满足本地网络所有客户端节点的请求,节省了传统 P2P 流媒体点播模型中大量重复的网络流量,很大程度上缓解了本地网络的出口流量压力,也改善了客户端节点的流媒体点播体验。

本地索引服务器负责维护所有本地节点的索引信息并响应客户端节点的索引请求。索引信息包括节点上缓存的流媒体对象、数据块编号、IP 地址、节点相邻度、节点的可用输出带宽等。当客户端节点请求流媒体资源时,首先向索引服务器发起索引请求,索引服务器根据流量本地优化原则返回缓存有目标对象的就近本地节点列表。本地索引机制消除了传统 P2P 网络中节点选取的随机性,引导流量的本地化,同时也改善了客户端节点的流媒体点播体验。

### 1.3 点播客户端节点

点播客户端节点发起流媒体点播请求到网络边界通过 DPI 流量鉴别后,被重定向到索引服务器,由索引服务器返回命中流媒体对象数据块的缓存服务器地址和本地客户端节点列表。为提高索引服务器维护的节点信息的时效性,客户端节点需定期向索引服务器发送本节点的索引信息更新。

## 2 缓存管理与缓存替换算法

网络边界的缓存服务器在具备大硬盘容量的条件下,应尽量把指定的流媒体点播源服务器中热度或点播次数较高的流媒体对象按照一定组织规则写入硬盘。为了进一步提高本地流媒体服务的实时性,消除从硬盘读取和查找数据的时间影响,需要在缓存服务器的内存中开辟缓存区,采用数据预取<sup>[5]</sup>策略和缓存替换<sup>[6,7]</sup>算法对缓存进行科学管理。

### 2.1 缓存规划方案

借鉴文献[8]的缓存管理设计,本研究中把服务器缓存划分为静态缓存区和动态缓存区。静态缓存区用于预取点播起始阶段的数据块,使系统在高点播量的情况下保持实时响应的能力。静态缓存区中的流媒体对象起始数据块短时间内不作变动,只是定时根据流媒体对象的热度变化进行调整。动态缓存区用于预取流媒体文件的后续数据块。当动态缓存区剩余容量不够存储新数据块时,则启动缓存替换算法对缓存进行

更新。

### 2.2 数据预取策略

缓存服务器的数据预取策略是影响系统性能的关键。数据预取策略应在有限的服务器缓存内,尽可能地包含即将被请求的流媒体对象的数据块。数据块命中的机率越高,数据预取策略越优。

当客户端发出流媒体点播请求时,最可能先被请求的数据块应该是热门流媒体对象的前几个数据块。为满足客户端发送点播请求后能够低延迟地播放流媒体文件,缓存服务器被部署后,应按照流媒体对象的热度高低,尽可能多地预取这些对象的前几个数据块到静态缓存区。在客户端播放流媒体文件前几个数据块的同时,服务器预取该文件的后续数据块到动态缓存区以支持客户端持续播放。考虑到 I/O 延迟和网络延迟,静态缓存中起始数据块支持客户端播放的时间要大于动态缓存预取后续数据块的时间。

### 2.3 动态缓存区的缓存替换算法

目前常用缓存替换算法包括 LRU、MRU、LFU 等,LRU (Least Recently Used)<sup>[9]</sup>算法替换最久未被命中的缓存数据块,这种算法建立在最近刚被访问的数据将来被访问的机率也相应较大的假设基础上。LRU 是大部分操作系统和缓存系统中缺省的缓存替换算法。LFU (Least Frequently Used)<sup>[10]</sup>算法替换一段时间内命中频率最低的缓存数据块。

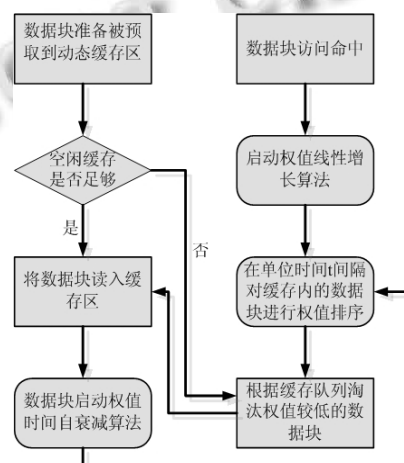


图 2 动态缓存区的缓存替换过程

文献[6]对影响缓存替换算法的 12 个因素进行了分析和性能测试。测试结果发现,以下四个因素是决定缓存替换算法优劣的关键因素:① 单位时间内缓存

数据块命中的次数；② 数据块最后一次命中后的间隔时间；③ 数据块在本地缓存系统中（含客户端节点）的缓存副本数量，该数量可以从本地索引服务器所维护的索引信息中统计获得；④ 同一流媒体对象的缓存数据块数量。在理想情况下，缓存数据块的单位时间内命中次数越少，最后一次命中后间隔的时间越长，在缓存系统中的副本数量和同一流媒体对象数据块的缓存量越多，则应优先进行替换。本文按次序赋予上述关键因素由高到低的加权值，并定期对动态缓存区的缓存队列进行重新排序，当需要新的缓存数据块进入缓存队列时，淘汰队列中排序较后的数据块。

### 3 节点本地索引机制

目前的 P2P 流量无序性的根源来自于索引机制随机分配资源返回节点列表<sup>[8]</sup>。为此，节点的本地选择优化机制在本地 P2P 流媒体系统的索引机制中加入节点相邻度（Proximity）考量，引入实际的网络配置信息，就近返回资源节点。

本地索引服务器的节点信息及节点流媒体对象等索引信息主要来自本地节点，包括缓存服务器。本地节点在本机缓存状态更新时通知索引服务器节点上缓存的流媒体对象、数据块编号、节点的可用输出带宽等索引信息；节点相邻度则根据网络拓扑信息和路由交换策略信息对节点的 IP 地址进行优化运算得到。同网段的节点互相有最大的节点相邻度值，不同网段节点的相邻度则视节点间通信需要经过的路由跳数决定，跳数越多，节点相邻度越小。

当本地索引服务器收到客户端节点的索引请求后，查找维护的索引中所有缓存目标流媒体对象的节点，同时计算这些节点与索引请求节点的节点相邻度，优先返回节点相邻度高的节点。如本地索引服务器维护的节点仍不够满足请求节点播放要求，则由本地索引服务器负责向网络中的索引服务器发起索引请求，并把结果返回客户端节点，同时也可选择添加索引结果到网络节点的索引记录中，以加快下次索引速度。

### 4 性能测试与分析

模拟环境利用 Georgia 理工大学的网络拓扑生成器 DT-ITM<sup>[11]</sup>产生基于中转和桩（transit-stub）模型的网络拓扑作为实验的底层网络。该网络拓扑包含 10000 个随机生成的 P2P 节点。网络核心由互联的 10 个平均

拥有 10 个路由器节点的中转域组成，每个中转域节点连接 10 个桩域，每个桩域连接 10 个 P2P 客户端节点。缓存服务器的静态缓存区为 200M，动态缓存区为 800M，千兆网络带宽；客户端节点缓存容量为 50M，百兆网络带宽。设定共有 500 个流媒体文件，每个流媒体文件大小固定为 300M，视频流码率固定为 512kbps。将流媒体对象按 100 秒的时间粒度进行划分，则可以分为 48 个数据块。缓存服务器静态缓存区只缓存流媒体对象的第一个数据块。

通过对比 P2P 流媒体点播流量经过本地优化和不进行优化两种环境下的客户端节点点播平均时延、本地缓存系统的点播命中率和网络边界的 P2P 流媒体点播流量等数据，分析本文提出的流量本地化机制是否达到预期效果。

#### 4.1 客户端节点的平均点播时延

客户端节点的平均点播时延指从节点发起点播请求到开始下载数据的时间间隔。一般状态下，客户端节点对流媒体文件的点播请求呈泊松分布。由图 3 可知，在没有经过流量本地优化的条件下，客户端节点的平均点播时延随着节点数量和网络规模的扩大呈现出明显增加趋势；经过流量本地优化后，客户端节点的平均点播时延随网络规模的扩大而增加的趋势则相对平缓很多。在同一网络规模下，经过流量本地优化的节点平均时延均优于没有经过本地优化的节点平均时延，网络规模越大，差距越明显。

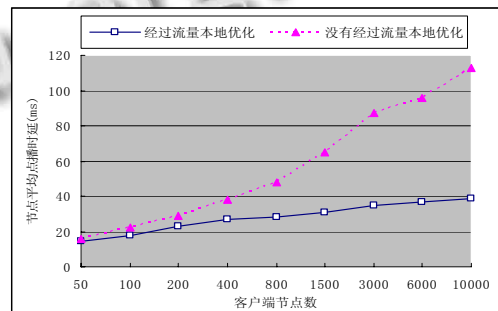


图 3 P2P 流媒体点播流量有无经过本地优化对客户端节点平均点播时延的影响

#### 4.2 客户端节点点播请求的本地缓存命中率

节点的本地缓存命中率是指点播请求在本地缓存系统（含缓存服务器缓存和普通客户端节点缓存）中命中次数与客户端节点发起的点播请求的比值。由图 4 可知，在具有本地缓存机制和节点索引机制的网络中，客

户端节点的点播请求的本地缓存命中率高出没有本地缓存机制网络平均 20% 左右。由于热门流媒体文件的首数据块已被预取到静态缓存区, 因此, 在具有本地缓存机制和节点索引机制的网络中, 文件首数据块点播请求的本地缓存命中率可以提高到接近 90% 的水平, 显著地减少了用户发起点播请求后的等待时间。

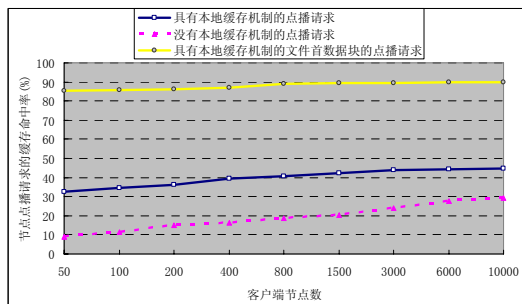


图 4 有无本地缓存机制对客户端节点点播请求的缓存命中率的影响

#### 4.3 网络边界的 P2P 流媒体点播流量

网络边界的 P2P 流媒体点播流量是反映流量本地优化机制是否有效的关键指标, 由图 5, 经过流量本地优化的网络边界流量在系统运行初期短暂高于没有经过流量本地优化的网络, 这是由于缓存服务器的静态缓存区和动态缓存区开始预取数据所造成的。随着时间的推移, 本地缓存服务器和索引服务器逐渐起到流量引导作用, 经过流量本地优化的网络在出口流量方面呈现出明显的下降趋势, 而没有经过流量本地优化的网络由于只能依靠客户端节点缓存, 且缺乏本地化管理, 出口流量方面下降不明显。

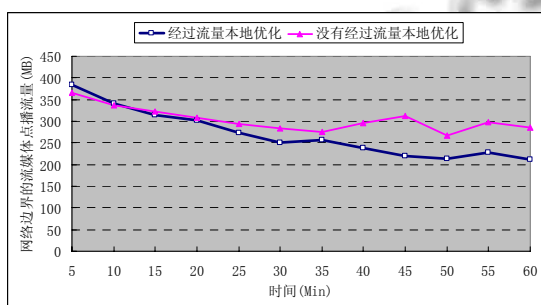


图 5 流量对比

## 5 结论

P2P 流媒体点播流量的本地优化技术已成为近几年 P2P 技术的研究热点。在前人的研究基础上, 本文提出了一套本地缓存服务器的缓存管理方案和本地节点索引机制。从实验结果分析, 该机制显著增加了用户的流媒体点播体验, 减少了自治网络边界的流量压力和带宽浪费, 在如高校校园网等园区网环境有良好的研究和应用价值。

### 参考文献

- 1 Castro M. Exploiting Network Proximity in Peer-to-Peer Overlay Networks. Technical Report MSR-TR-2002-82, 2002.
- 2 Fox G. Peer-to-Peer Networks. Computing in Science & Engineering, 2001, 3(3): 75-77.
- 3 Parker A. The true picture of Peer-to-Peer file sharing. <http://www.cachelogic.com>, 2005.
- 4 聂瑞华, 黄伟强, 吴仕毅, 等. 基于 DPI 技术的校园网络带宽管理. 计算机技术与发展, 2009, 19(4): 250-253.
- 5 Steven P, Vanderwiell D, Lilja J. Data Prefetch Mechanisms. ACM Computing Surveys, 2000, 32(2): 174-199.
- 6 陈勇, 孙世新, 周益民, 等. 基于 P2P 的 CDN 新型网络及缓存替换算法. 微电子学与计算机, 2008, 25(9): 213-220.
- 7 王小燕. 一种高效的流媒体代理缓存替换算法. 计算机工程, 2009, 35(14): 72-74.
- 8 陈起, 吴杰, 傅维明, 等. P2P 流媒体点播系统中的缓存管理方案的研究和实现. 计算机应用与软件, 2009, 26(2): 94-96.
- 9 Pendse R, Bhagavathula R. Performance of LRU block replacement algorithm with pre-fetching. 1998 Midwest Symposium on Circuits and Systems. Los Alamitos, CA, USA. Aug. USA: IEEE Comp Soc., 1999: 86-89.
- 10 王晨凌, 陈文, 方剑. P2P 流量管理技术研究. 电信科学, 2008, (2): 54-58.
- 11 Zegura E, Calver K, Bhattachajee S. How to model an internet network. Fifteenth Annual Joint Conference of the IEEE INFOCOM. San Francisco, USA, 1996.