

多 P2P 覆盖网络的带宽分配方法

张未展^{1,2,3}, 郑庆华^{1,2,3}, 刘兴卓^{1,2,3}, 覃林^{1,2,3}

(1. 西安交通大学计算机科学与技术系, 710049, 西安; 2. 西安交通大学智能网络与网络安全教育部重点实验室, 710049, 西安; 3. 陕西省天地网技术重点实验室, 710049, 西安)

摘要: 针对多频道对等(P2P)视频直播系统中会出现多个 P2P 覆盖网络竞争节点带宽资源的问题,提出一种基于多 P2P 覆盖网络的带宽分配方法. 按照不同的观看频道集合并根据需求为各个节点组提供参与频道中的带宽分配策略;以分组带宽分配策略为基础构建和维护与带宽分配相适应的节点伙伴关系和网络拓扑结构;P2P 节点数据请求的响应策略在相应的伙伴节点中选择服从带宽分配策略的候选伙伴节点来传输数据,通过节点响应行为完成带宽分配. 实验结果表明,所提方法能够使系统的可用带宽在不同频道中按照需求比例进行分配,与随机策略相比可以减少带宽不足频道的数据平均到达时间,加快用户的平均下载速度.

关键词: 对等网络; 带宽分配; 覆盖网络

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2010)04-0005-04

A Bandwidth Allocation Algorithm for Multiple P2P Overlay Networks

ZHANG Weizhan^{1,2,3}, ZHENG Qinghua^{1,2,3}, LIU Xingzhuo^{1,2,3}, QIN Lin^{1,2,3}

(1. Department of Computer Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. MOE Key Laboratory for Intelligent Networks and Network Security, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 3. Shaanxi Province Key Laboratory of Satellite and Terrestrial Network Technology, Xi'an 710049, China)

Abstract: A bandwidth allocation scheme based on multiple peer-to-peer (P2P) overlay networks is proposed for P2P live video streaming system to solve the bandwidth resource competition among coexisting P2P overlays. The nodes are grouped based on the sets of different channels that are being watched, and the bandwidth allocation strategies among different channels are given for the resulting groups. Then partner relationships among peers and the corresponding overlay topologies are established based on the bandwidth allocation strategies. Finally, the bandwidth allocation is implemented through a data response strategy of P2P node requesting to select partners for a node in respect to the bandwidth allocation strategy. Simulation results shows that the bandwidth resources are fairly shared among different channels. A comparison with the random strategy shows that the average arriving delay of data is reduced, and the average download speed is increased.

Keywords: peer-to-peer network; bandwidth allocation; overlay network

P2P 视频直播技术具有良好的实用性和可扩展性,目前在 Internet 上已产生了一些有代表性的多频道 P2P 视频直播系统,如 PPLive^[1]. 这些系统虽

然支持多频道直播,但用户一般只能观看一个频道的节目,而覆盖网下的视频直播技术研究也多集中于这种观看模式^[2-10]. 然而,一些应用场景对单用

收稿日期: 2009-09-15. 作者简介: 张未展(1977—),男,博士生; 郑庆华(联系人),男,教授,博士生导师. 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60633020, 60825202); “十一五”国家科技支撑计划重大项目(2006BAJ07B06); 国家发改委 CNGI 专项基金资助项目(CNGI-09-01-13).

户同时观看多个频道提出了要求,如三维电视、电视画中画等.当单节点同时观看多个频道的节目时,会出现多个频道的覆盖网络相互重叠,因此需要在不同覆盖网之间对节点的带宽资源进行合理的分配.近来,已有少量 P2P 视频直播研究考虑到了单用户同时观看多频道节目的情形^[11-12],如采用博弈论的方法实现不同频道间的带宽竞买与分配^[11],该方法基于的是已有的随机伙伴关系,但不恰当的伙伴关系会导致资源不能充分利用.文献[12]将节点按照观看频道的数目分组,并以分组为单位进行带宽分配,但是观看频道数量相同的节点可能观看到的频道完全不同,因此这种带宽分配未必合理.在分布式的 P2P 视频直播系统中,实际的带宽分配行为是通过节点的最终行为来体现的,仅靠伙伴节点构成的网络拓扑难以保证合理的带宽分配.

本文提出一种基于多 P2P 覆盖网络的带宽分配方法.该方法综合了多 P2P 覆盖网络中的带宽分配、伙伴节点选择以及节点数据请求的响应策略等,从而实现了系统可用网络带宽在不同频道中按照需求比例进行分配,以提高整个系统的资源利用.

1 多 P2P 覆盖网络的带宽分配方法

1.1 带宽分配算法

多 P2P 覆盖网络的带宽分配算法如图 1 所示.

假设系统包含 N 个视频直播频道 $\{c_1, \dots, c_N\}$, 记为 S^c ; 又设系统中观看节目的节点为 S^n , 共有 $|S^n|$ 个节点.按照不同节点观看的频道集合可将节点划分为 $N^2 - 1$ 个节点组 $\{g_1, g_2, \dots, g_{N^2-1}\}$, 所有分组分别观看的频道集合 $\{S^{g_1}, S^{g_2}, \dots, S^{g_{N^2-1}}\}$ 记为 S^g , S^g 是 S^c 所有非空子集构成的集合.

定义 1 分层可用带宽矩阵为 $\mathbf{M}^u: N \times N$, $M_{i,j}^u$ 为观看频道 c_j 且观看的频道数恰为 i 的所有节点能提供 c_j 的最大可用上行带宽, $\mathbf{M}^u$ 则为所有观看 c_j 且观看的频道数恰好为 i 的节点上行带宽之和.

定义 2 频道最大可用带宽向量 $\mathbf{U}^{\max} = (U_1^{\max}, U_2^{\max}, \dots, U_N^{\max})$, 表示 S^c 中 N 个频道分别能获得的最大可用带宽.频道 j 的最大可用带宽 $U_j^{\max} = \sum_{i \in \{1, \dots, N\}} M_{i,j}^u$.

定义 3 频道需求带宽向量 $\mathbf{U}^r = (U_1^r, U_2^r, \dots, U_N^r)$, 表示 S^c 中 N 个频道流畅播放分别所需的最小带宽.设 S^c 中任意频道 c_j 的节目位速率为 r_j , 观看频道的节点数 n_j , 则频道 c_j 所需的最小带宽为 $U_j^r = r_j n_j$. 为了使得需求带宽之和与可用带宽之和相

输入: 频道集合 S^c , 分层可用带宽矩阵 $\mathbf{M}^u$, 频道最大可用带宽向量 $\mathbf{U}^{\max}$, 频道需求带宽向量 $\mathbf{U}^r$.

输出: 节点组 g_i 分配给频道 c_j 的网络带宽 $u_{g_i}^j$, 分配策略与需求带宽成正比, 与可用带宽成反比.

步骤1: 按照节点观看不同的频道数计算 $\mathbf{M}^d$

For η_c 由 1 至 N

If $\eta_c == 1$

$M_{1,j}^d = M_{1,j}^u, U_j^r = M_{1,j}^u, U_{1,j}^{\max} = M_{1,j}^u$ // 只观看一个频道, 可用带宽只能分配给该频道

End If

If $\eta_c \in \{2, \dots, N\}$

$\text{Sum}^i = \sum_{j \in \{1, \dots, N\}} M_{i,j}^u / i$;

计算 $(w_1, w_2, \dots, w_N)$, 其中 $w_j = U_j^r / U_j^{\max}$; // 与需求带宽成正比, 与可用带宽成反比

$(k_1, k_2, \dots, k_N) \leftarrow (w_1, w_2, \dots, w_N)$ // 所属频道索引从大到小排序

$W = \sum w$;

$R_{\text{remain}} = 1$;

For $(k_1, k_2, \dots, k_N)$ 中的每一个频道

$M_{i,k_j}^d = \min(\frac{w_{k_j}}{W} R_{\text{remain}} \text{Sum}^i, M_{i,k_j}^u)$;

$R_{\text{remain}} = \frac{M_{i,k_j}^d}{\text{Sum}^i}$;

$W = w_{k_j}$

End For

End If

End For

步骤2: 按照节点观看频道集合的不同, 分别计算 $u_{g_i}^j$

For 每个观看频道 c_j 的节点组 g_i

$u_{g_i}^j = u_{g_i} \frac{M_{i,j}^d}{\sum_k M_{i,k}^d}, c_k \in S^{g_i}$

End For

η_c : 观看的频道数; Sum^i : 观看的频道数为 i 的所有节点上行带宽之和, 其值为 $\mathbf{M}^u$ 的第 i 行元素之和除以 i ; $(w_1, w_2, \dots, w_N)$: 每轮带宽分配中 N 个频道的分配权重; $(k_1, k_2, \dots, k_N)$: 频道索引 $(1, \dots, N)$ 按照频道权重 $(w_1, w_2, \dots, w_N)$ 从大到小的排序; R_{remain} : 剩余带宽分配比例; W : 所有频道的带宽分配权重之和

图 1 多 P2P 覆盖网络带宽分配算法

一致, 应有

$$U_j^r \leftarrow U^r \sum_{i \in \{1, \dots, N\}} U_i^{\max} / \sum_{i \in \{1, \dots, N\}} U_i^r$$

定义 4 分层带宽分配矩阵为 $\mathbf{M}^d: N \times N$ 矩阵, 表示以观看频道数目相同的节点组集合为单位进行带宽分配, $M_{i,j}^d$ 则为观看的频道数目恰好为 i 的所有节点分配给频道 c_j 的带宽.

根据节点组参与频道带宽分配的结果, 可以确定一个频道中的各个节点组提供上传带宽比例. 当某节点加入一个频道时, 可用伙伴节点选择算法(见图 2)从各节点组中按比例选择相应的节点作为伙

伴节点.

1.2 多覆盖网络中 P2P 节点的数据请求响应策略

节点经实时统计后向各个覆盖网络上传节目数据, $D_{g_i}^j$ 为节点组 g_i 向任意频道 c_j 上传的实际数据量, 则节点组对频道 c_j 提供的上传带宽比例的实际值为 $d_{g_i}^{j*} = D_{g_i}^j / \sum_{g_k} D_{g_k}^j$, 其中 g_k 为观看 c_j 的任意分组. 当不同节点组的伙伴节点向节点 n_i 提出请求时, 节点 n_i 优先选择 $d_{g_i}^{j*} < d_{g_i}^j$ 且 $(d_{g_i}^j - d_{g_i}^{j*})/d_{g_i}^j$ 最大的节点组请求响应. 若节点请求的数据只有一个伙伴节点拥有且距播放时间接近, 则该请求应具有较高的优先级来获得响应. 采用节点的数据请求响应策略, 可保证节点行为的叠加与带宽分配相匹配.

输入: 任意节点组 g_i 对其观看频道 c_j 分配的带宽 $u_{g_i}^j$,
 分层带宽分配矩阵 M^d .
 输出: 任意节点加入频道 c_j 时分配的伙伴节点集合 $F_{n_i}^j$.
 步骤 1: 计算 $d_{g_i}^j$
 For S^c 中的每一个频道 c_j
 $U_j = \sum_{i \in N} M_{i,j}^d$;
 For 每一个观看 c_j 的所有节点组 g_i
 $d_{g_i}^j = u_{g_i}^j / U_j$;
 End For
 End For
 步骤 2: 伙伴节点选择
 For n_i 观看的每一个频道 c_j // 新加入的节点 $n_i \in S^n$
 For 观看 c_j 的每一个节点组 g_i
 $F_{n_i}^j \leftarrow N \times d_{g_i}^j$;
 End For
 End For

U_j : 观看频道 c_j 的节点组为频道 c_j 分配的上行带宽之和, 其值为 M^d 的第 j 列元素之和; N : 新加入节点所需的伙伴节点数; $d_{g_i}^j$: 节点组 g_i 为频道 c_j 提供的带宽占频道

c_j 所有上行带宽的比例 $d_{g_i}^j$

图2 伙伴节点选择算法

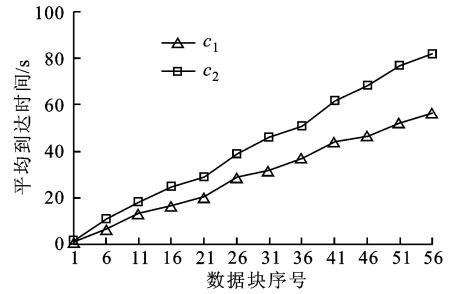
2 仿真实验及结果分析

设系统的同时传输频道为 c_1 和 c_2 , 频道的平均位速率分别为 200 kb/s 和 400 kb/s. 按照不同的观看频道, 将 150 个用户节点等分为互斥的 3 个节点组, 每组有 50 个节点, 节点组观看的频道集合分别为 $\{c_1\}$, $\{c_2\}$, $\{c_1, c_2\}$, 则 c_1 和 c_2 需求带宽分别为 20 Mb/s 和 40 Mb/s. 仿真中, 节目持续时间均为 60 s.

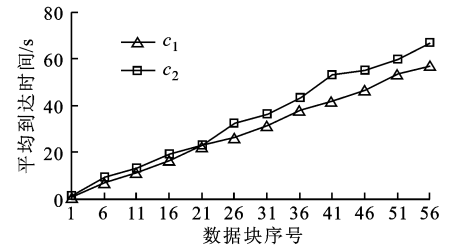
实验 1 在系统带宽比较充足的情况下, 测试了 2 个频道中数据包的平均到达时间和节点平均下载速率, 以此验证带宽分配的合理性. 设 3 组节点的上

行带宽分别为 200 kb/s、200 kb/s 和 1 200 kb/s, 则上行带宽之和为 80 Mb/s, 已大于 2 个频道的需求带宽之和 60 Mb/s.

数据包平均到达时间的实验结果如图 3 所示. 在图 3a 中的随机策略下, c_2 最后数据包的延迟接近 90 s, 大于节目的长度 60 s, 显然难以满足实时播放的需求. 就相同序号数据包下的平均传输延迟而言, c_2 的要远大于 c_1 的, 说明带宽在这 2 个频道覆盖网络间的分配不够合理. 图 3b 是采用本文带宽分配方法的结果, 可以看到 c_2 最后一个数据块的平均到达延迟至少减小到了 60 s, 属于正常直播, 同时看到这 2 个频道间的平均延迟差相应降低.



(a) 随机策略



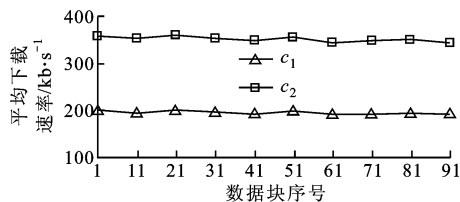
(b) 本文带宽分配方法

图3 数据包平均到达时间

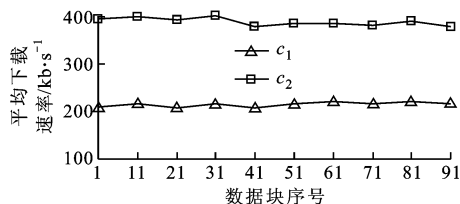
节点平均下载速率的实验结果如图 4 所示. 在图 4a 的随机策略下, c_2 中节点的下载速率明显小于该频道节目的位速率 400 kb/s, 该速率难以支持流畅播放. 图 4b 是采用了本文带宽分配方法的结果, 可以看到 c_1 和 c_2 的数据下载速率均与该频道节目的位速率相近, 可正常播放.

实验 2 当系统带宽严重不足时, 测试 2 个频道中各节点组的带宽分配比例, 以此验证带宽分配的合理性. 实验 2 将实验 1 中 3 组节点的上行带宽分别减半, 即 3 组节点的上行带宽分别为 100 kb/s、100 kb/s 和 600 kb/s. 上行带宽之和为 40 Mb/s, 其小于 2 个频道的需求带宽之和 60 Mb/s.

3 个节点组在 2 个频道的上传带宽比例的实验结果如图 5 所示. 在图 5b 随机策略下同一频道的



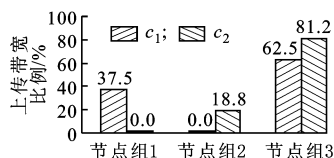
(a) 随机策略



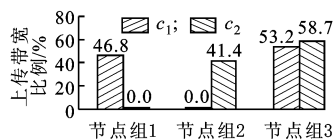
(b) 本文带宽分配方法

图4 各节点的平均下载速度

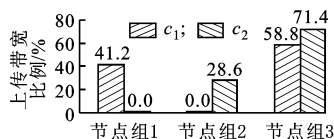
覆盖网络中,各个节点组的上传带宽比例与理论值相差较大.图5c是采用了本文带宽分配方法的结果,可以看到不同节点组的带宽得到了合理的分配,节点组在2个频道的上传带宽比例与理论分配值更为接近.



(a) 理论值



(b) 随机策略



(c) 本文带宽分配方法

图5 节点组在2个频道的上传带宽比例

3 结论

针对多频道P2P视频直播系统中的单用户同时观看多频道节目时出现的多覆盖网络资源共享问题,提出了一种基于多P2P覆盖网络的带宽分配方法.该方法综合利用了带宽分配算法、节点伙伴选择算法以及节点的数据请求响应策略.仿真实验表明,采用多P2P覆盖网络带宽分配方法,能够使

P2P系统的网络带宽得到公平合理的分配和利用.与未考虑多覆盖网络资源共享的随机策略相比,本文方法可以在带宽不足的覆盖网络中获得更小的数据平均到达时间、更大的节点平均下载速度和符合频道需求的带宽分配比例.

参考文献:

- [1] PPTV. PPLive [EB/OL]. [2009-03-09]. <http://www.pplive.com/>.
- [2] 黄泳翔, 钱德沛, 伍卫国, 等. 可分级视频编码覆盖网非一致性随机成员构建算法[J]. 西安交通大学学报, 2009, 43(6): 1-4.
- [3] HUANG Yongxiang, QIAN Depei, WU Weiguo, et al. Non-uniform random membership management to construct overlays for transferring scalable video coding [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2009, 43(6): 1-4.
- [4] LI Bo, YIN Hao. Peer-to-peer live video streaming on the internet: issues, existing approaches, and challenges [J]. IEEE Communication Magazine, 2007, 46(6): 94-99.
- [5] WU Di, LIU Yong, ROSS K W. Queuing network models for multi-channel p2p live streaming systems [C]//Proceedings of IEEE INFOCOM. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: 73-81.
- [6] WANG Feng, LIU Jiangchuan, XIONG Yongqiang. Stable peers: existence, importance, and application in peer-to-peer live video streaming [C]//Proceedings of INFOCOM. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 2038-2046.
- [7] REN Dongni, LI Y T H, CHAN S H G. On reducing mesh delay for peer-to-peer live streaming [C]//Proceedings of INFOCOM. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 1732-1740.
- [8] MAGHAREI N, REJAIE R. PRIME: peer-to-peer receiver-driven mesh-based streaming [C]//Proceedings of INFOCOM. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2007: 1415-1423.
- [9] WU Chuan, LI Baochun, ZHAO Shuqiao. Multi-channel live p2p streaming: refocusing on servers [C]//Proceedings of INFOCOM. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 1355-1363.
- [10] HEI Xiaojun, LIANG Chao, LIANG Jian, et al. A measurement study of a large-scale p2p IPTV system [J]. IEEE Trans on Multimedia, 2007, 9(8): 1672-1687.
- [11] ZHANG Weizhan, ZHENG Qinghua, LI Yang, et al. A multi-tree construction algorithm for multi-channel

live media delivery on overlay service network[C]//
Proceedings of IEEE CCNC. Piscataway, NJ, USA;
IEEE, 2009: 1-6.

[11] WU Chuan, LI Baochun. Strategies of conflict in coex-
isting streaming overlays[C]// Proceedings of INFO-
COM. Piscataway, NJ, USA; IEEE, 2007: 481-489.

[12] WANG Miao, XU Lisong, RAMAMURTHY B.

Channel-aware peer selection in multi-view peer-to-
peer multimedia streaming[C]// Proceedings of 17th
International Conference on Computer Communica-
tions and Networks. Piscataway, NJ, USA; IEEE,
2008: 1-6.

(编辑 苗凌)