

可分级视频编码覆盖网非一致性 随机成员构建算法

黄泳翔¹, 钱德沛^{1,2}, 伍卫国¹, 刘涛¹

(1. 西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安; 2. 北京航空航天大学中德软件技术研究所, 100085, 北京)

摘要: 为了解决采用一致性随机成员算法进行节点管理而导致覆盖网(overlay)系统不具备 QoS 感知能力的问题, 设计并实现了一种应用非一致性随机成员算法的 overlay 构建协议. 在协议框架中, 构成 overlay 的节点选择某一节点为邻居节点的概率与该节点的输出带宽成正比, 这样在传输可伸缩编码视频(SVC)数据时, 可避免出现上游节点丢弃部分媒体数据而降低下游节点接收质量的情况. 测试结果表明, 与一致性随机成员算法及多树算法相比, 所提协议构建的 overlay 可以更加有效地支持 SVC 数据的传输.

关键词: 覆盖网; 可分级视频编码; 媒体数据; 数据传输

中图分类号: TP391.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2009)06-0001-04

Non-Uniform Random Membership Management to Construct Overlays for Transferring Scalable Video Coding

HUANG Yongxiang¹, QIAN Depei^{1,2}, WU Weiguo¹, LIU Tao¹

(1. School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;

2. Sino-Germany Software Institute, Beihang University, Beijing 100085, China)

Abstract: To solve the problem of the QoS-awareness inability of the overlay that is constructed by uniform random membership management, a non-uniform random membership algorithm is proposed and implemented. Individual peer in the proposed mechanism chooses its neighbors with a probability that is proportional to the out-bandwidth of target peers, and hence the overlay constructed by the algorithm can avoid the situation that downstream peers degrade their receiving QoS that is caused by the upstream peers for adapting to the variation of network bandwidth in discarding part of non-key media data as transferring scalable video coding (SVC). Experiment results and comparisons with the uniform random membership algorithm and the multi-tree algorithm show that the proposed protocol can greatly improve the utilization of peers downlink capacity, and thus more efficiently support the transfer of SVC on the overlay system.

Keywords: overlay construction; scalable video coding; media streaming; data transfer

随着计算机网络设备的升级和数字影像编码技术的发展, 由单一源向多个接收端传输媒体数据的流媒体应用, 已经成为当前 Internet 上的主要应用之一^[1].

目前, 用于传播流媒体的技术主要有 2 种: ①

client/server(C/S)模式; ②peer-to-peer(P2P)模式. 在 C/S 模式下, 系统能支持的节点数受限于服务器带宽, 因此流媒体系统的规模比较小; 在 P2P 模式下, 所有参与系统的节点(peer)组成覆盖网(overlay), 每个节点都可以作为中继节点向与其连

树所获取的层级.通过选择具有较小层级的节点作为邻居节点,可优化 overlay 拓扑结构.

由于 Internet 工作在 best-effort 模式下,传输路径延迟总是随着网络状况的变动而变化,因此结构化 mesh 的成员算法收敛性不佳.

据此,本文提出了一种基于节点输出带宽的成员管理算法.在算法中,节点总是倾向于选择具有较高输出带宽的节点作为其上游(或邻居)节点.为了防止节点总是向某一特定目标发送连接请求,算法增加了邻居节点选择的随机概率,即选择邻居节点的概率与目标节点的输出带宽成正比.

设 π_i 为节点 a 选择节点 i 为邻居的概率,则有

$$\pi_i = \frac{B_w(i)}{\sum_{j \in \Gamma(t)} B_w(j)} \quad (1)$$

式中: $B_w(i)$ 为节点 i 的输出带宽; $\Gamma(t)$ 为 t 时刻 overlay 中所有存活节点集合.

如何定义转换矩阵 $\mathbf{P}$ 使邻居节点选择算法可以快速收敛到某个期望的概率分布? Metropolis-Hastings(MH)算法^[6]是将转移概率赋予马尔科夫链作为快速收敛到某个期望概率分布的标准方法. MH 算法是一种后验算法,即知道了某一类节点的分布概率,通过概率分布让算法快速收敛到该类节点.根据 MH 算法特性,构建邻居节点选择的转换矩阵 $\mathbf{P}$,从而使邻居节点选择概率与该节点的输出带宽成正比.

MH 算法的概率计算式为

$$P_{i,j} = \begin{cases} \frac{1}{d_i} & \frac{\pi(i)}{d_i} \leq \frac{\pi(j)}{d_j} \\ \frac{1}{d_j} \frac{\pi(j)}{\pi(i)} & \frac{\pi(i)}{d_i} > \frac{\pi(j)}{d_j} \end{cases} \quad (2)$$

式中: d_i 为节点 i 的连接度,节点 j 为节点 i 的邻居节点. $P_{i,j}$ 是随机漫步者(Random Walker, RW)由节点 i 出发到达节点 j 的概率.为了保证概率值的总和为 1,添加 RW 停留在节点 i 的概率为 $P_{i,i} = 1 - \sum_{j \in \Gamma(i)} P_{i,j}$.将式(1)代入式(2),得到本文的非一致性成员算法的概率计算式

$$P_{i,j} = \begin{cases} \frac{1}{d_i} & \frac{B_w(i)}{d_i} \leq \frac{B_w(j)}{d_j} \\ \frac{1}{d_j} \frac{B_w(j)}{B_w(i)} & \frac{B_w(i)}{d_i} > \frac{B_w(j)}{d_j} \end{cases} \quad (3)$$

2.2 overlay 构建协议

利用非一致性算法构建 overlay 的基本协议框架如下.

设系统中每个节点 i 在其内存中维护一个大小

为 k_i 的节点列表(k_i 的大小由节点自身性能决定).节点 i 在加入 overlay 时,由系统的引导内存服务器给予初始的 M 个节点($M > k_i$).在获取 M 个节点后,节点 i 采用式(3),从 M 个邻居节点中选取 k_i 个节点,并向其发送 RW,记为 $R_{i,1}, R_{i,2}, \dots, R_{i,k_i}$.节点 j 接收到节点 i 发送的 $R_{i,l}$,并向节点 i 反馈确认信息,确认信息包括节点 j 当前的邻居节点数和现有带宽等.

如果节点 j 有足够的带宽或其邻居节点数没有超出限定的最大值,确认信息中还应包含邻居建立请求.节点 i 接收到邻居建立请求,发送响应信息,并将节点 j 的信息保留在邻居节点列表中.

如果节点 j 的邻居节点数已经达到所能接纳的最大值,且节点 i 的输出带宽大于其邻居节点中输出带宽最小的节点(设为节点 m),节点 j 将节点 m 、节点 i 进行交换,并接纳节点 i 作为新的邻居节点.

如果上述情况都不适用,节点 j 将在确认信息中发起邻居节点交换请求,并与节点 i 交换邻居节点信息,再根据式(3)将 $R_{i,l}$ 发送给下一跳节点.

在协议框架中, RW 会在 2 种情况下失效:① RW 的生命期(TTL)归 0;②所在节点失效.协议规定:节点在 2 s 内未接收到 RW 的回馈消息,将发送新的 RW 以代替失效的 RW.

3 测试与分析

基于 ns2 系统开发了仿真环境,并对 SVC 在基于非一致性成员算法的 overlay 传输性能上进行了测试.

3.1 测试环境

由 Brite^[7]生成网络拓扑,配置参数如下:生成 3 个自治域(AS),每个 AS 内配置 10 个路由器,并采用 top-down 传输模式.路由器之间的链路采用基于随机早期检测的拥塞控制机制,每个链路的连接延迟在[5 ms, 200 ms]区间随机选取.连接 AS 的核心链路的带宽范围为 4~10 Gb/s.

试验场景的主要参数如下.

(1)500 个节点均匀分布在 3 个 AS 中,A、B、C、D 4 类节点的最高邻居数为 40,下游节点(即向该节点申请数据的节点)数分别为 16、10、5、3,其性能参数见文献[2].

(2)1 个流媒体服务器,输出带宽 25 Mb,可支持 10 个节点.

(3)传输 30 min、5 级时域、1 700 kb/s 的分解 SVC 数据,其中基本层数据带宽为 36 kb/s.

(4) 1个引导内存服务器,节点初始进入系统时,由该服务器提供10个初始的邻居节点信息(当服务器中登记的节点信息数不足10时,服务器将发送已登记的所有节点的信息)。

(5) 每个数据存储块(chunk)的大小为4 kB。

(6) 节点开辟可缓存30 s数据的滑动窗口。

(7) RW的调度时间为2 s。

流媒体数据由 Evalvid 工具^[8]生成,并作为资源文件由流媒体服务器调用。为了避免出现样本偏差,每组试验进行50次,取其平均数据作为试验的测试数据。

3.2 结果与分析

对节点的接收带宽和播放质量进行了测试,并采用对比的方法进行分析。对比组分2种 overlay: 基于MH的一致性成员算法构建的 overlay; 多树法构建的 overlay^[9]。

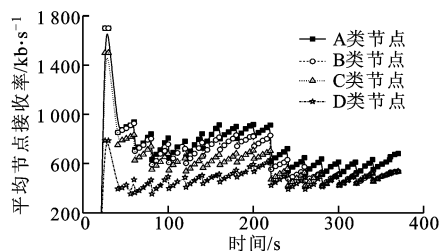
测试分下面2个阶段。

(1) 在初始阶段,每20 s有10个节点加入系统。根据参考文献^[10],实际应用的P2P流媒体网络节点,从加入系统到开始播放数据(即节点到达稳定状态)通常需要10~20 s。

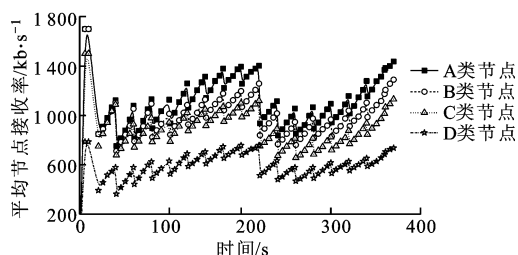
(2) 当系统中的节点数到达100时,每20 s有50个节点加入系统,直到500个节点全部加入为止。测试期间:所有的节点都稳定运行,没有失效节点。测试结果如图3所示。

从图3可以看出,由于流媒体服务器可以支持10个节点,因此在初始阶段各类节点的接收性能达到了各自的最高点。当测试时间为40 s时,第2批节点加入系统,各类节点的接收性能产生波动。分支为10的多树法性能下降得最快,其次是根据一致性成员算法构建的 overlay。在网络波动的情况下,非一致性成员算法构建的 overlay 显示出了较快的收敛性,节点的接收性能迅速收敛到各自的最高点,其次是一致性成员算法。收敛性能最差的是多树法构建的 overlay,在网络波动的情况下,各类节点的接收性能逐渐向接收性能最差的D类节点收敛,这也证明了本文最初的研究原因,即当上游节点接收性能较差时,直接制约了下游节点的接收性能。

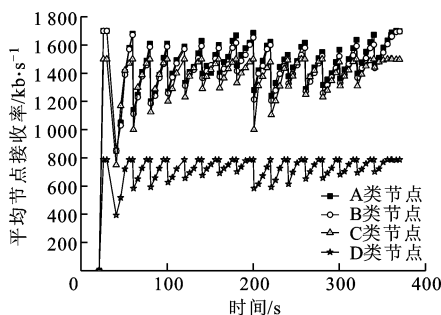
值得关注的是:在一致性成员算法构建的 overlay 中,接收性能收敛速度最快的是具有最高接收带宽的A类节点;在非一致性成员算法构建的 overlay 中,接收性能收敛最快的是接收带宽最差的D类节点。其原因可能是A类节点的带宽最大,在根据式(3)计算RW的下一跳目标节点时,A类节



(a) 分支为10的多树法



(b) 一致性成员算法



(c) 非一致性成员算法

图3 3种算法构建 overlay 时节点接收带宽示意图

点的RW多数选择暂时停留在当前节点,从而导致A类节点在搜索网络拓扑时的速度小于其他几类节点。如何提高A类节点接收性能的收敛速度是下一步研究工作之一。

4 结论

本文提出了一种非一致性成员管理算法,其中的邻居节点选择概率与该节点的输出带宽成正比。基于该算法,设计和实现了新的 overlay 构建协议,并对 SVC 数据在所提算法构建的 overlay 上进行了传输性能测试。结果表明,与一致性成员算法和多树法相比,非一致性成员管理算法构建的 overlay 能更好地支持 SVC 数据传输。

参考文献:

- [1] LIU Jiangchuang, LI Bo, ZHANG Yaqin. Adaptive video multicast over the Internet [J]. IEEE Multimedia, 2003, 10(1): 22-31.
- [2] SAROIU S S, GUMMADI P K, GRIBBLE S D. A measurement study of peer-to-peer file sharing systems [C]//Proceedings of ACM Multimedia Computing and Networking. New York, USA: ACM, 2002: 156-170.
- [3] 黄宇,金蓓弘. 非结构化 P2P 系统 Overlay 优化技术综述 [J]. 小型微型计算机系统, 2008, 29(2): 1-8.
HUANG Yu, JIN Peihong. A survey of overlay optimization techniques in unstructured P2P systems [J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2008, 29(2): 1-8.
- [4] SCHWARZ M H, MARPE D, WIEGAND T. Overview of the scalable video coding extension of the H.264/AVC standard [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2007, 17(9): 1103-1129.
- [5] HUANG Yongxiang, QIAN Depei, WU Weiguo, et al. Whirlpool: structuring mesh-based overlay for QoS-aware P2P streaming[C]//International Conference Grid and Cooperative Computing. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 412-420.
- [6] AZAR Y, BRODER A, KARLIN A, et al. Biased random walks [C]//Proceedings of the 24th ACM Symposium on the Theory of Computing. New York, USA: ACM, 1992:1-9.
- [7] MEDINA A, LAKHINA A, MATTA I, et al. Brite: an approach to universal topology generation[C]//International Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunications Systems. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2001:346-353.
- [8] KE C H, SHIEH C K, HWANG W S, et al. An evaluation framework for more realistic simulations of MPEG video transmission [J]. Journal of Information Science and Engineering, 2008, 24(2): 425-440.
- [9] CASTRO M, DRUSCHEL P, KERMARREC A M, et al. SplitStream: high-bandwidth content distribution in a cooperative environment [C]//Proceedings of IPTPS. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2003: 298-313.
- [10] HEI Xiaojun, LIANG Chao, LIANG Jian, et al. A measurement study of a large-scale P2P IPTV system [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2007, 9(8): 1672-1687.

(编辑 苗凌)

【本刊相关文献链接】

面向嵌入式媒体处理体系结构的 SPUR 编程模型. 2006, 40(8):869-873.
利用 MPEG-4 视频流的运动目标检测算法. 2008, 42(4):454-457.
保证 H.264 视频通信质量的实时传输协议载荷. 2007, 41(12):1455-1459.
一种基于视频多特征融合的火焰识别算法. 2006, 40(7):811-814.
基于高斯混合模型的视频对象分割算法. 2006, 40(6):724-728.
并发多媒体服务系统超载模型分析. 2006, 40(2):161-615.