

P2P 流媒体邻居节点组织与行为预测

苏杭^{1,2}, 王劲林², 尤佳莉²

(1. 中国科学院研究生院, 100049, 北京;

2. 中国科学院声学研究所国家网络新媒体工程技术研究中心, 100190, 北京)

摘要: 针对当前流媒体系统用户行为研究缺少单一节点角度的长期行为特性分析及利用的问题, 提出一种 P2P 流媒体邻居节点组织与行为预测策略(POPP). 该策略基于流媒体系统中节点长程行为的互相关及自相关特性, 通过在数据交互中收集其他节点的在线、延迟及带宽信息来计算邻居节点的综合可用性, 维护能够为自身提供优质服务的潜在邻居节点表, 并通过基于马氏链的节点行为模型预测邻居节点的未来在线状态. 用户日志驱动的仿真实验结果表明, 邻居节点组织策略有效提高了邻居节点对自身的服务质量, 长期训练后的节点行为预测准确率达 97% 以上.

关键词: P2P; 流媒体; 用户行为; 相关性; 状态预测

中图分类号: TP37 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2012)10-0048-07

Neighbor Peer Organization and Behavior Prediction of P2P Streaming Systems

SU Hang^{1,2}, WANG Jinlin², YOU Jiali²

(1. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 2. National Network New Media Engineering Research Center, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: A neighbor peer organization and behavior prediction scheme of P2P streaming systems (POPP) is proposed to solve the lack of analysis on single node's long-term behavior in current study of streaming system user behavior. The POPP bases on the inter and self behavior correlations of nodes, and collects information of neighbor peers such as behavior, delay and bandwidth in data cooperation process, to calculate their comprehensive availability and to maintain a list of the candidate peers that may provide high quality service. Then, future online status of neighbor peers is predicted by a Markov chain model. Simulations driven by a trace of streaming system show that the neighbor organization of POPP effectively improves the service quality of neighbors, and that the neighbor status prediction accuracy reaches more than 97% after enough trainings.

Keywords: peer-to-peer; streaming system; user behavior; correlation; status prediction

当前,学术界对于流媒体系统用户行为的研究主要集中于对节点群体统计特性的分析,包括对在线节点数、频道/影片热度、节点加入间隔、会话/在线/离线时长、点播跳转等参数的统计拟合,以及对

各参数间影响关系的分析. 另有部分文献涉及短时间内节点间行为的相关性研究,测量、分析了节点间可用性的关联性及其成因. 但是,现有文献极少见在长时间尺度上从每个节点自身角度出发、对节点自

身前后行为的相关性以及节点间行为的长期相关性所进行的研究。

本文从节点间及节点自身行为的关联关系出发,通过对 IPTV 系统用户日志进行分析,揭示了节点长期行为的规律性,发现系统中存在较大比例的在线状态相关的用户对,而单一用户自身的前后行为也保持着强相关性.这一节点行为特征成为进行 P2P 流媒体系统优化的重要依据,可用于指导 P2P 流媒体系统的节点组织、稳定性维护、数据交互等过程的优化.在节点行为互相关的基础上,提出了基于节点行为相关性的邻居节点表组织方法;在节点行为自相关的基础上,提出了基于马氏链的高效节点状态预测算法.基于以上策略,优化了 P2P 流媒体系统中数据交互的节点选择,提高了系统性能。

1 相关工作

对系统参数的测量及用户日志的分析是研究用户行为及其应用的基础.文献[1]总结了 P2P 流媒体系统用户行为测量的各种参数及其物理意义,分析了大量不同 P2P 流媒体系统的用户行为测量结果及结论,并定性分析了各个测量参数之间的影响及关联关系.文献[2]分析了美国 AT&T 数字电视系统的运行日志,对节点会话时长、行为周期性规律、在线节点数、频道热度分布及时变规律等参数进行了统计和拟合;文献[3]分析了 TVants、SOP-Cast、TVU Player 三种 P2P TV 系统中的节点地理位置分布、在线节点数变化以及上下行流量消耗等参数.与此类似,文献[4]分析了大规模 P2P VoD 系统的用户行为特性,指出用户行为具有明显的时变性规律,不同影片的用户收看特性也不尽相同.文献[5]指出,IPTV 系统节点行为具有强烈时变性,在不同时段有不同的行为特性.但是,现有研究主要是围绕节点整体的统计特性来进行的,没有考察单一节点的特性,更缺少对于节点间行为相关性的考察。

在节点行为相关性方面,文献[6]从单一节点特性的角度研究了 P2P 文件共享系统 Amule 的长期用户行为,发现同一节点相邻 2 d 的上线行为相关度低.对 Overnet 的研究^[7]表明,P2P 文件共享系统中的节点平均可用性在 1 d 中存在高峰与低谷的时变,而节点间的可用性相关度低.然而,文件共享系统的节点行为模式与流媒体系统的模式差异大,无法以此推测流媒体系统中的节点特性. Vu 等人^[8]分析了 PPLive 中节点对间的可用性相关度,发现同时在线的节点间相关程度高,有 50% 的节点对间有

强相关性,而在不同节点快照中随机选择的节点对之间相关程度低.但是,此研究只考察了较短时间(24 h)内的节点间在线相关性,没有发掘节点间的长期相关特性.在用户行为特性的基础上,文献[9]基于节点历史在线时长来预测其离线行为,进而指导数据迁移操作.文献[10]使用强化学习方法来预测节点行为,通过预测命中与否形成对预测器的反馈,推动预测器随环境变化演进.文献[11]将反渗透预测器、基于有限状态机的预测器、线性预测器等 5 种预测器进行组合应用,形成了应用于分布式系统节点状态的混合预测策略 Hybrid.

2 流媒体系统长期用户行为特性分析

从前述分析可知,当前学术界对于流媒体系统用户行为的研究主要着眼于整体用户群行为的统计特性,而较少考察单一用户的长时间行为特性.本节从用户行为自相关性及不同用户的互相关性出发,统计分析了嘉定有线数字电视系统日志,涉及 2010-03-21~2010-06-20 期间 1 704 个用户的 7 447 752 条日志.以 10 min 为周期对各个节点的在线状态进行采样,用 $s_i^m \in \{0, 1\}$ 表示节点 i 在时隙 m 的在线状态。

2.1 节点间行为相关性分析

在数字电视系统中,由于节目编排及用户偏好的原因,直观上应该具有一定数量的用户具有类似的观看习惯.为了进一步挖掘用户间行为的关联关系,定义两节点间的在线行为相关系数

$$R_a^b(T_0, T_1) = P_{T_0, T_1}(b = 1 | a = 1) = \frac{\sum_{t=T_0}^{T_1} s_a^t s_b^t}{\sum_{t=T_0}^{T_1} s_a^t} \quad (1)$$

在 P2P 流媒体系统中,只有 a 节点在线时,其他节点的在线才会对服务 a 的数据需求有意义,因此式(1)可以表征其他节点对于本节点的潜在利用价值.进而计算在 $(T_1 - T_0)$ 取不同时间时所有节点两两间的在线行为相关系数,并统计概率分布.如图 1 所示,节点间的在线行为相关系数呈双峰分布,在考察时长为 5 d、30 d 时,相关系数在 0.8 以上的节点对比例为 50%、40%.因此,从单一节点的角度来看,在不同的持续时长内,该节点在线时有一定数量的其他节点也在线,对本节点具有潜在的利用价值。

由图 1 可见,随着考察时间的延长,节点的相关程度下降.为了考察节点间相关关系的稳定性,统计出不同时长内相关系数 ≥ 0.8 的稳定节点对的集合 $H_{len} = \{\langle i, j \rangle\}$,进而求不同时长内持续稳定节点

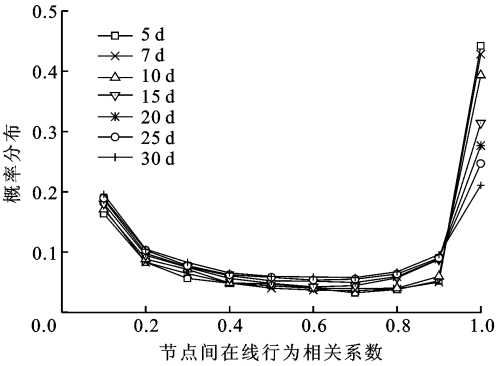


图 1 节点间在线行为相关性概率分布

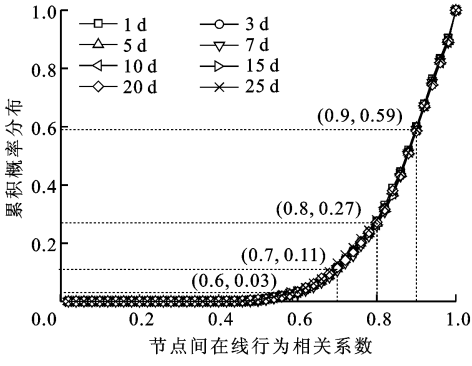


图 2 不同节点的自身行为相关性分布

对所占的比例 $|H_{len1} \cap H_{len2}| / |H_{len1}|$, 其结果见表 1, 可以看到随着时长加大, 持续稳定节点对的比例减小.

表 1 持续稳定节点对的比例

时间/d	持续稳定节点对比例/%					
	7 d	10 d	15 d	20 d	25 d	30 d
5	95.9	91.7	86.6	80.4	76.43	72.5
7		94.6	89.0	82.6	78.4	74.2
10			92.7	85.9	81.4	77.1
15				91.6	86.6	81.8
20					93.6	88.0
25						92.9

2.2 节点行为自相关性分析

为了获知各用户自身行为的规律性, 对各节点自身的在线状态向量进行相关性分析. 从 2010-04-21 开始, 计算用户间隔不同时间的每日在线状态向量间的 Spearman 相关系数, 并统计其概率分布, 得到图 2. 在不同时间间隔上, 用户行为的自相关性基本不变, 导致不同时间间隔的累积分布函数(CDF)曲线基本重合, 而且图中 73% 的用户的自身行为相关系数 ≥ 0.8 . 为了检验用户自身行为相关性的稳定性, 统计在不同时间间隔上节点自身行为的相关系数在 ≥ 0.8 与 < 0.8 (分别标记为 H、L) 之间转换的情况, 结果见表 2, 可见节点自身行为的相关性规律在不同时间跨度上保持着高度的稳定性.

从以上分析可知: 用户的自身行为具有良好的相关性, 这种以天为周期的用户自身行为相关性意味着良好的行为规律性与可预测性.

流媒体系统用户的在线行为特性主要取决于用户的作息习惯及收看偏好. 对 IPTV 及 P2P 流媒体

系统的大量测量结果^[1-5,8]表明, IPTV 与 P2P 流媒体系统中的用户统计行为具有相似的时变性规律. 随着相关技术的不断发展, IPTV 逐渐采用 P2P 技术来弥补组播技术在互联网上的不足^[12], 因此本节对 IPTV 系统用户行为相关性的分析也适用于 P2P 流媒体系统.

表 2 节点自身行为相关系数的转移比例

t_0/d		相关系数转移比例/%							
		5 d		10 d		20 d		25 d	
		H	L	H	L	H	L	H	L
1	H	70.9	1.4	70.6	1.7	70.0	2.3	69.6	2.7
	L	2.3	25.4	3.0	24.7	2.7	25.0	2.4	25.3
5	H			71.8	1.3	71.1	2.1	70.6	2.6
	L			1.9	25.0	1.7	25.1	1.4	25.4
10	H					71.7	2.0	70.9	2.8
	L					1.1	25.2	1.1	25.2
20	H							70.7	2.1
	L							1.3	25.9

3 基于节点行为的邻居节点组织与行为预测

节点间行为互相关性及节点行为自相关性的发现, 为 P2P 流媒体系统优化提供了新的依据. 基于第 2 节中所发现的节点行为特性, 在此提出 P2P 流媒体邻居节点组织与行为预测策略 (neighbor peer organization and behavior prediction scheme of P2P streaming system, POPP). POPP 通过节点在线状态信息收集和邻居节点组织, 来维护与本节点具有良好互相关性及历史服务质量的邻居节点. 此外, 基于节点行为的自相关性, 提出了一种在线的基于马氏链的节点行为预测算法. 以上维护、预测策略可以

为 P2P 流媒体系统优化提供多重帮助。

3.1 节点在线状态信息收集及邻居节点表组织

由 2.1 节的分析可知,流媒体系统中存在一定比例的具有持续性在线行为相关的节点对。因此,在 P2P 流媒体系统中,各节点可通过获取并学习其他节点的行为模式,对与自身具有良好在线状态关联关系、且与本节点之间网络延迟及可用带宽状况均较好的节点进行维护,组成邻居节点表,则这些相对稳定的邻居节点可以为 P2P 数据合作提供良好的前提环境。

3.1.1 节点在线状态信息记录 令系统中每个节点维护自身的在线状态向量,节点于磁盘中记录状态向量开始时间,每次上线时将离线期间对应的向量位置置 0,并于在线期间的每个采样周期对状态向量置 1。

3.1.2 在线状态向量交互 各节点在进行数据调度时,获取合作节点近 30 d 的在线状态向量。每次采样状态占 1 b,设采样周期为 5 min,则 1 kB 报文即可存储 30 d 的在线状态,因此节点间交换在线状态向量带来的开销极小。

3.1.3 状态相关度计算及邻居节点表生成 本节点根据与其他节点间的行为相关性、网络延迟及带宽状况,计算邻居节点综合可用性,并据此维护邻居节点表,具体方法如下:本节点 a 在获取到其他节点 b 的在线状态向量后,通过式(1)计算自身与其他节点的状态相关度 R_a^b ,且在在进行数据调度、获取其他节点状态向量的同时,测量节点间传输延迟 D_a^b ,获取可用上行带宽信息 B_a^b ,并多次测量计算相应属性的均值 $\overline{D_a^b}$ 、 $\overline{B_a^b}$,进而记录节点信息 $\langle b, S_b, R_a^b, \overline{D_a^b}, \overline{B_a^b} \rangle$ 。首先将各属性值进行归一化

$$D_a^{b'} = \text{CCDF}(\overline{D_a^b}); \quad B_a^{b'} = \text{CDF}(\overline{B_a^b}) \quad (2)$$

节点间延迟越小越好。使用 CCDF 分布这一单调减函数对 $\overline{D_a^b}$ 进行归一化,选用 CDF 分布来处理 $\overline{B_a^b}$ 。至此,各属性值被映射到 $[0, 1]$ 区间,开始计算节点 b 的综合可用性

$$A_a^b = \beta_1 R_a^b + \beta_2 D_a^{b'} + \beta_3 B_a^{b'};$$

$$\beta_1, \beta_2, \beta_3 \in (0, 1), \quad \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 1 \quad (3)$$

式中: $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ 为属性权重。将 A_a^b 值最大的 γ 个节点的 $\langle b, S_b, R_a^b, \overline{D_a^b}, \overline{B_a^b} \rangle$ 信息记录于磁盘,形成邻居节点表。

3.1.4 邻居节点表维护与更新 此后,节点每次上线时首先向表中的节点请求更新状态向量 R_a^b (若该

节点不在线则相应位置 0),并测量 $\overline{D_a^b}$ 、 $\overline{B_a^b}$,同时在数据调度过程中通过获取的各节点 A_a^b 值的大小来更新邻居节点表,保证邻居节点表中存储的是与本节点相关度最高的 γ 个节点。

3.2 基于节点行为自相关的节点状态预测方法

为了更准确地获知邻居节点的将来在线情况,需要对其进行状态预测。由 2.2 节可知,流媒体系统用户具有以天为周期的自身行为前后相关性,由此提出基于节点行为自相关的节点状态预测算法(status prediction algorithm based on behavior correlation, PABC),通过节点历史在线特性预测其未来状态。

如图 3 所示,将节点在一天中的在线状态描述为共有 n 个点的离散时间马尔科夫过程,节点在每个时刻具有 0/1 两个状态。使用如下状态转移矩阵来表示节点在 t 与 $t+1$ 时刻间的状态转移情况

$$P(t) = \begin{bmatrix} p_{00}(t) & p_{01}(t) \\ p_{10}(t) & p_{11}(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

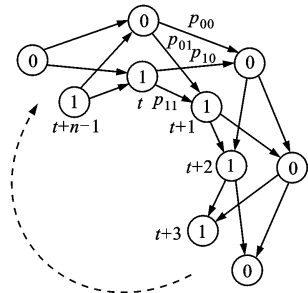


图 3 节点在线状态转移图

对节点 i 维护状态转移矩阵集 $P_i = \{P_i(t), P_i(t+1), \dots, P_i(t+n)\}$,其中 $P_i(t+n)$ 为当天最后一次采样到第二天第一次采样间的状态转移矩阵。当采样到节点的最新状态 $s(t+1)$ 后,使用加权指数移动平均的方式训练转移矩阵

$$P_i(t) \leftarrow (1 - \alpha)P_i(t) + \alpha \begin{bmatrix} s(t+1) & s(t+1) \\ s(t+1) & s(t+1) \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: $\alpha \in [0, 1]$ 为加权系数。对于由时间 t_1 至 t_2 的多步预测,所需状态转移概率矩阵为

$$P_i(t_1, t_2) = \prod_{t=t_1}^{t_2} P_i(t) \quad (6)$$

进行状态预测时需结合当前时刻 t_1 的状态 $s(t_1)$ 与 $P_i(t)$,以 $p_{s(t_1)0}(t)$ 及 $p_{s(t_1)1}(t)$ 的概率预测目标时刻 t_2 的离线及在线状态。本预测算法仅维护 1

个状态转移矩阵集,矩阵更新及状态预测方法简单高效,可以对节点状态变化规律进行实时学习与预测,无需大量训练数据。

3.3 基于节点长程行为特性的 P2P 流媒体系统优化

邻居节点表中维护了与自身在线状态相关性较好的节点的信息,这些节点可作为本节点的潜在可靠合作节点。节点在线状态预测方法可以进一步提高本节点与其他节点进行交互时对可持续性的判断准确率。本节讨论以上策略对于 P2P 流媒体系统的优化作用。

3.3.1 数据调度父节点选择 在节点具有硬盘缓存 P2P VoD 系统以及收看与服务解耦^[13]的 P2P 直播系统中,节点在线时可持续对外提供对某节目的服务,其在线状态等同于服务状态。因此,节点在需要从其他节点获取媒体数据时,优先向邻居节点表中拥有自身所需数据的节点请求数据,进而增强媒体数据的传输稳定性,降低传输延迟,减小数据调度层选择与更换父节点的负担。

3.3.2 P2P 点播数据副本迁移调整 在使用节点磁盘缓存的 P2P VoD 系统中,节点在退出系统前将自身存储的数据主动迁移到其他节点中,或由服务器指导某些节点缓存一定的数据来调整数据副本分布^[9]。在此过程中,可使用 PABC 策略预测本节点离线时间来触发迁移操作,或根据各节点的在线状态来预测未来一定时间内不同影片/数据片的副本分布、数据预取收益,用于决策数据迁移方向。

4 仿真实验与分析

本文基于 p2pstrmsim 仿真器^[14]实现了 P2P 流媒体系统结构,仿真底层拓扑与延时参数设置采用 Meridian^[15]提供的实际网络数据。节点上、下行带宽参数见表 3。设置节目数量 200 个,节目热度服从参数为 1.2 的 Zipf 分布,节点状态采样周期为 10 min。

表 3 仿真实验节点带宽参数设置

节点类型	下行带宽 /kb·s ⁻¹	上行带宽 /kb·s ⁻¹	节点数比例 /%
DSL-1	784	128	18
DSL-2	1 500	384	45
DSL-3	3 000	1 000	27
Ethernet	10 000	5 000	10

4.1 邻居节点表维护效果

通过实验测试了邻居节点表的维护效果。邻居

节点表的尺寸上限设为 50,按天统计各节点的邻居节点表中邻居的平均在线概率,以及本节点与各邻居节点的在线行为相关性。数据调度及底层节点组织策略采用文献^[16]所述的方法。对与数据维护层进行数据合作的各节点,同样测量以上 2 个参数作为对比组。视频码率设为 450 kb/s。实验中节点的上下线行为由 2.2 节所述的用户日志驱动,时长为 60 d,节点为 1 680 个。邻居节点可用性参数 $\beta_1=0.5$, $\beta_2=0.2$, $\beta_3=0.3$ 。实验结果见图 4。

图 4a 为节点在线行为的历史相关性对比,可见邻居节点表中所维护的节点与自身的相关性明显高于数据调度中所交互过的节点。邻居节点表中节点的行为相关性接近于 1 且水平稳定;相比于此,由于数据调度层所交互的节点并不考察其相关性,因此波动较大,表现出在线相关性的随机性。对于 P2P 应用,邻居节点表的有效性更应该体现在提高所维护节点的将来在线概率。实验中以 10 min 间隔统计各邻居节点的在线比例,并按天求所有节点在线比例的均值,结果见图 4b。与图 4a 类似,各节点所维护的邻居节点的在线概率及其稳定性均显著高于普通数据交互节点。2010-06-01 的用户操作记录数量仅为前、后 2 d 均值的 54%,导致节点间相关性偏离邻居节点表所具有的先验知识,因此图 4b 中第 41 d 的邻居节点表中的节点在线概率大幅下降,而普通节点间的在线概率不受历史信息的影响,因此波动较小。图 4c、4d 分别为本节点与邻居节点表中节点的延迟和可用带宽情况,可见邻居节点表中节点的延迟/可用带宽值均小于/大于普通节点约 45%/1.8

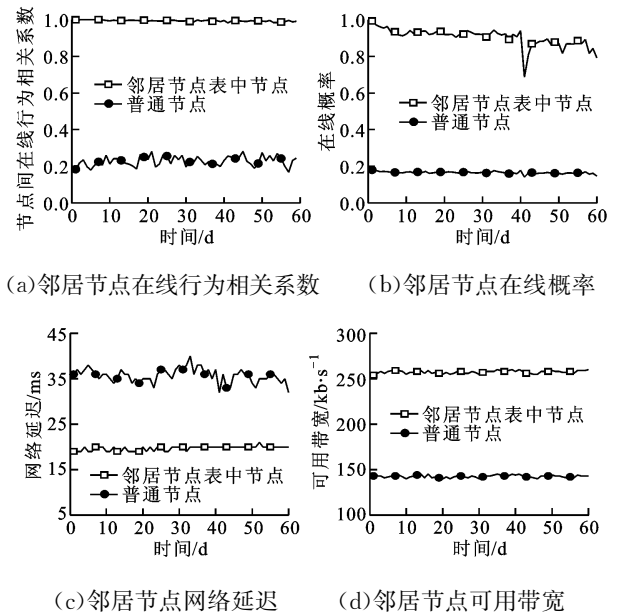


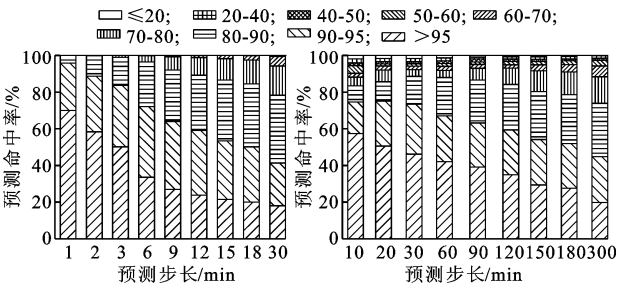
图 4 邻居节点表维护效果

倍,且稳定性良好.

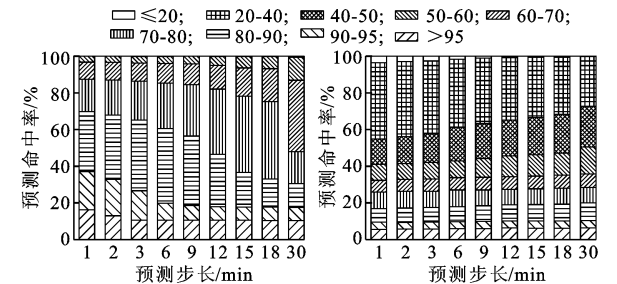
4.2 节点在线状态预测性能

为验证节点在线状态预测算法 PABC 的预测性能,对 1 680 个节点分别进行在线状态预测. 为每个节点维护一个状态预测器,使用边训练边预测的方法. 实验采用基于节点在线时长的预测算法 Life-Based^[9]、基于强化学习的预测算法 Q-Learning^[10]以及混合预测算法 Hybrid^[11]进行性能对比. 对于 Hybrid 中的 History 及 TwHistory 子预测器,分别维护 6、12、72、144 点历史长度的多重预测器.

图 5 为不同预测方法对于不同预测步数的准确率分布,可见 PABC 算法命中率最高. Hybrid 算法由于集成了 5 种子预测器,对不同行为模式有较好的适应性,因此具有较高的命中性能. Life-Based 算法使用长期学习到的在线/离线时长均值及分布作为预测依据,无法适应节点行为的周期性动态变化,命中率最低. 图 6 进一步显示了 PABC、Hybrid 及其子预测器的预测命中率均值,可见 PABC 预测器的整体预测命中率优于 Hybrid,但随着预测步长的加大,其命中率下降较快. Hybrid 的 History 及 TwHistory 子预测器记录了长度为 1 kb 的历史状态及状态间转移图,相当于有后效性的事件队列,其不同状态间的转移概率使用简单的标志值进行累加. 实验中 6/12 与 72/144 点的子预测器分别用于捕获短时间与长时间尺度上的规律性. 从图 6 可以看出,History 预测器的性能远低于考虑节点行为



(a)PABC 算法 (b)Hybrid 算法



(c)Q-Learning 算法 (d)Life-Based 算法

图 5 不同节点状态预测方法的预测命中率

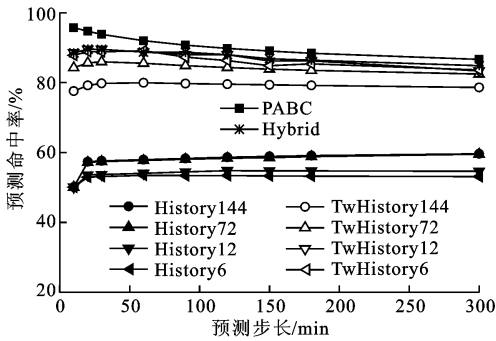
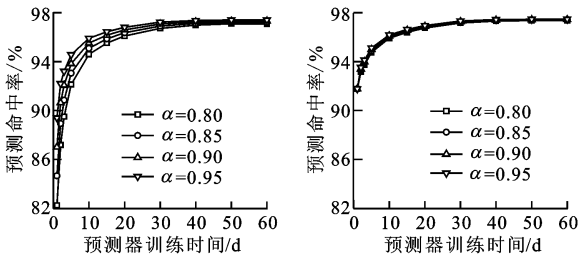


图 6 PABC、Hybrid 及其子预测器的命中率

扰动性之后的 TwHistory 预测器的性能,而在综合了不同尺度的子预测器后,Hybrid 的性能优于其各子预测器的性能. Hybrid 多重预测器在算法时间、空间复杂度方面均优于 PABC,但性能仍低于 PABC.

图 7 显示了使用不同状态转移概率预测矩阵初始化方法及不同 α 值时, PABC 算法在开始学习不同时间后的平均命中率. 图 7a 为使用零矩阵进行初始化的结果,图 7b 为使用各节点第一天各采样点间的在线状态进行初始化的结果. 可见,使用节点第一天各采样点间的状态转移数据来初始化 P_t ,可以有效提高预测算法的启动速度,在学习邻居节点在线状态信息仅 1 d 后,预测命中率就可达 91.5% 以上. 随着学习时间的延长,不同参数下的预测命中率快速收敛,长期命中率达 97% 以上.



(a)使用零矩阵初始化 (b)使用节点第一天状态初始化
图 7 不同初始化方法及参数下的预测命中率

2.2 节中的分析表明,不同节点的行为自相关程度不同,为考察自相关程度对节点状态预测准确性的影响,统计各节点在 60 d 学习-预测时长内的平均预测命中率和累积分布函数,结果见图 8. 在 60 d 内,不同 α 值对应的预测曲线都快速收敛到相近命中率,因此图 8 中各曲线基本重合,且算法对各节点均具有良好的预测效果,94.5% 以上节点的平均命中率在 92.5% 以上.

4.3 邻居节点表及节点状态预测应用

为验证学习组织邻居节点表以及节点状态预测的应用效果,对 3.3.1 小节所描述的父亲节点选择策

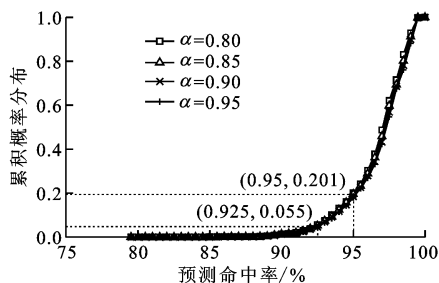
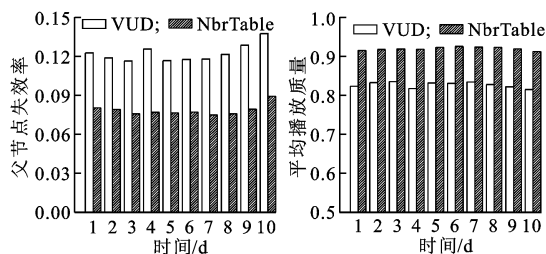


图8 PABC的节点在线状态预测命中率分布

略进行实验. 实验仿真了文献[13]所描述的 VUD 类型 P2P 直播系统, 采用嘉定有线 2010-04-21~2010-04-30 的用户数据驱动节点行为. 系统初始化时为各节点随机指定其服务频道. 为测试邻居节点表及状态预测策略的作用, 将所述数据调度策略进行优化, 数据请求节点优先向自身邻居节点表中正在为自己所看频道服务的节点请求数据, 在进行数据交互后, 通过 PABC 算法预测各父节点在未来 10 min 内的在线概率, 若在线概率 < 0.5 , 则选择新的父节点来进行替代, 将此方法标记为 NbrTable. 以文献[16]所述数据调度策略作为对比组, 标记为 VUD. 实验测量了不同策略下数据合作父节点的失效率以及节点平均播放质量, 结果见图 9.

由图 9a 可知, 通过优先使用邻居节点表中的节点进行合作, 数据合作父节点的失效率及其波动性均有效降低, 失效率下降幅度达 37%. 与此同时, 通过提高父节点带宽和延迟条件, 降低切换父节点的频率, 节点播放质量亦得到有效提高, 效果见图 9b.



(a) 数据合作父节点失效率 (b) 节点平均播放质量

图9 邻居节点表及节点状态预测策略
对 P2P 直播系统性能的影响

5 总结

本文通过分析流媒体系统日志, 发现了节点长期行为相关性的重要特征: ①系统中存在大量的在线行为长期相关性较好的节点对; ②系统中节点自身的行为存在以天为周期的良好的前后相关性. 这

成为对 P2P 流媒体系统进行优化的重要依据. 基于节点的长期行为特征, 提出了邻居节点表组织方法, 收集、学习与自身具有良好行为相关性及数据合作性的节点, 形成对高质量节点的先验知识; 提出了基于节点行为自相关的节点状态预测方法, 通过建立时变的节点状态转移模型, 准确、高效地预测邻居节点的未来状态. 这些策略可为 P2P 流媒体系统的节点组织、稳定性维护等流程的优化提供依据. 将以上策略应用于流媒体数据交互中的父节点选择决策, 结果验证了其对于系统优化的有效性.

本文分析了用户间及自身的行为相关性特性, 但没有挖掘其深层次的形成原因及关联关系, 如用户收看偏好的社区特性、兴趣相关节点的行为相关度等, 而这些方面值得进行深入研究. 此外, 可基于本文发现的用户行为特性进行用户聚类组织等操作, 以增强系统的稳定性及节点合作的有效性.

参考文献:

- [1] ULLAH I, DOYEN G, BONNET G, et al. A survey and synthesis of user behavior measurements in P2P streaming systems [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2011, 13(3): 1-16.
- [2] QIU Tongqing, GE Zihui, LEE S, et al. Modeling user activities in a large IPTV system [C]// Proceedings of 9th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement. New York, USA: ACM, 2009: 430-441.
- [3] MENDES J, SALVADOR P, NOGUEIRA A. P2P-TV service and user characterization [C]// Proceedings of IEEE 10th International Conference on Computer and Information Technology. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2010: 2612-2620.
- [4] HUANG Yan, FU T Z J, CHIU D M, et al. Challenges, design and analysis of a large-scale P2P-VOD system [C]// Proceedings of ACM SIGCOMM 2008 Conference on Data Communication. New York, USA: ACM, 2008: 375-388.
- [5] GENG Yu, WESTHOLM T, KIHLM, et al. Analysis and characterization of IPTV user behavior [C]// Proceedings of IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2009: 1-6.
- [6] STEINER M, EN-NAJJARY T, BIERACK E W. Long term study of peer behavior in the KAD DHT [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2009, 17(5): 1371-1384.
- [7] BHAGWAN R, SAVAGE S, VOELKER G. Under-

- standing availability [C]//Proceedings of 2nd International Workshop on Peer-to-Peer Systems. Berlin, Germany: Springer, 2003: 256-267.
- [8] VU L, GUPTA I, NAHRSTEDT K, et al. Understanding overlay characteristics of a large-scale peer-to-peer IPTV system [J]. ACM Trans Multimedia Comput Commun Appl, 2010, 6(4): 1-24.
- [9] CHENG Bin, STEIN L, JIN Hai, et al. A framework for lazy replication in P2P VoD [C]//Proceedings of International Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video. New York, USA: ACM, 2008: 93-98.
- [10] XU Tianyin, WANG Weiwei, YE Baoliu, et al. Prediction-based prefetching to support VCR-like operations in gossip-based P2P VoD systems [C]//Proceedings of 15th International Conference on Parallel and Distributed Systems. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2009: 1-8.
- [11] JAMES W M, BRIAN D N. Exploiting availability prediction in distributed systems [C]//Proceedings of 3rd Conference on Networked Systems Design & Implementation. Berkeley, CA, USA: USENIX Association, 2006: 73-86.
- [12] CHA M, RODRIGUEZ P, MOON S, et al. On next-generation telco-managed P2P TV architectures [C]//Proceedings of 7th International Conference on Peer-to-Peer Systems. Berkeley, CA, USA: USENIX Association, 2008: 5-10.
- [13] WU Di, LIANG Chao, LIU Yong, et al. Redesigning multi-channel P2P live video systems with View-Upload Decoupling [J]. Computer Networks, 2010, 54(12): 2007-2018.
- [14] ZHANG Meng, ZHANG Qian, SUN Lifeng, et al. Understanding the power of pull-based streaming protocol: can we do better? [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007, 25(9): 1678-1694.
- [15] WONG B, SLIVKINS A, EMIN G S, et al. Meridian: a lightweight network location service without virtual coordinates [J]. SIGCOMM Comput Commun Rev, 2005, 35(4): 85-96.
- [16] LI Zhao. GridMedia+: a P2P streaming system for live and on-demand video [C]//Proceedings of 2009 Consumer Communications and Networking Conference. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2009: 1-2.

(编辑 葛赵青 武红江)