



无线 mesh 中传输速率抖动抑制策略研究 *

乐光学^{1,2}, 骆 丹^{1,2}, 刘建生², 李明明^{1,2}

(1. 嘉兴学院数理与信息工程学院 嘉兴 314001; 2. 江西理工大学理学院 赣州 341000)

摘 要:通过分析无线 mesh 网络中节点的抖动行为特征,针对节点因拥塞导致的限速行为提出了抖动抑制策略。当访问节点选择流媒体服务提供节点时,通过预测抖动概率效用函数,选择抖动较低的节点为流媒体服务源端节点;构建节点失效恢复策略,当发生拥塞且预测抖动概率较大时,判定节点失效,启动节点替换机制并实现服务迁移。实验结果表明,该策略能有效抑制通信链路的传输速率抖动,提高网络的服务性能,同时验证了网络中节点抖动的客观存在性。

关键词:无线 mesh 网络;传输速率;抖动和拥塞;邻居选择;失效恢复

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.10.014

Research on the Scheme of Churn Suppression for Wireless Mesh Network

Yue Guangxue^{1,2}, Luo Dan^{1,2}, Liu Jiansheng², Li Mingming^{1,2}

(1. College of Mathematic Physics and Information Engineering, Jiaxing University, Jiaxing 314001, China;

2. School of Science, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

Abstract: Through analysis of behavioral characteristics of churn nodes in wireless mesh network, a schema was proposed to improve the speed limit caused by congestion. The basic idea of the approach is to heuristically select the service nodes with lowest churn rate when it accesses the streaming media, where the churn rate is predicted through a utility function. In addition, a failure recovery scheme for the churn nodes with heavy congestion was proposed. A node was considered failure and replaced with another peer by migrating the services on it whenever the node encounters congestion and its churn rate exceeded a predefined threshold. Simulation results show that the scheme can not only efficiently solve the problem of high congestion, single failure, and low delivery efficiency, but also significantly improve the QoS of the wireless mesh network, at the same time to verify the objective existence of churn.

Key words: wireless mesh network, transmission rate, churn & congestion, neighbor selection, failure recovery

1 引言

随着有线、无线网络的深度融合和承载业务的多样化,互联网已成为一个开放复杂的异构系统。无线 mesh 网

络(wireless mesh network, WMN)由 mesh 路由和 mesh 终端组成,具有自组织、自配置、灵活多跳、移动等特点^[1-4],是目前比较公认的无线接入网络技术之一。无线 mesh 网络中由于节点本身特有的性能局限、移动和行为的不确定性、

* 浙江省自然科学基金资助项目(No. LY12F02019),浙江省公益技术应用研究项目(No.2011C23130),浙江省嘉兴市科技计划基金资助项目(No. 2012AY1027)



带宽有限且不太稳定等引发网络系统出现抖动效应,严重影响网络的性能并降低网络的服务质量,尤其对带宽、时延和抖动等有严格要求的流媒体服务影响最为严重。研究表明:抖动是网络普遍存在的问题,引发网络抖动的原因大可分为以下几点。

- 网络节点频繁上下线引起的抖动^[5-8]。无线 mesh 网络中,节点频繁地上下线,使得该区域的拓扑结构、邻居表等信息频繁更新,严重影响网络性能。一旦邻居表的更新赶不上节点的频繁变化,将造成节点邻居表中的连接情况与实际的拓扑结构不一致;拓扑结构不断变化,路由表频繁更新,将大幅度提高网络的维护代价,增加网络的负担。
- 网络时延抖动^[9-11]。节点之间进行流媒体数据传输时,数据分组 i, j 到达接收端的网络时延为 D_i, D_j , 当时延差异值 $|D_i - D_j|$ 大于一定数值时,导致目标节点在接收时出现播放模糊、像素降低等现象,严重影响流媒体文件质量。
- 网络节点理性导致的传输速率抖动^[10,12]。无线 mesh 网络中的两个节点之间进行数据传输, $t, t+1$ 时刻发送端上传速率差异较大,即传输过程中时快时慢,断断续续,导致目标节点接收到的文件出现播放不畅通、断断续续等现象,严重影响客户对该文件的兴趣,降低网络的服务质量。

节点的行为是自然人的行为特征在网络中的体现,具有自私和理性特征,使得网络中的节点并非每个都遵循“平等互惠、友好共处”理念。为防止出现拥塞状态,源节点将通过限制传输速率来缓解自身的负荷超载。这种行为将导致流媒体服务质量急剧下降,使服务请求节点对该网络系统失去兴趣而退出网络。

为探究这一问题,业界对网络抖动效应进行了大量的研究工作,取得了大量的研究成果。

参考文献[7,8,13]运用统计特性、测量方法对 P2P 网络中节点频繁上下线引起的抖动现象进行了详细的研究分析,并归纳了现有文献对网络中抖动行为的应对策略。

参考文献[9,14~18]从拥塞角度对网络节点抖动行为进行研究。参考文献[9]中针对实时多媒体业务在传输过程中出现的拥塞、时延抖动等情况提出了基于抖动检测的拥塞控制(JDCC)算法;参考文献[14]通过对丢弃分组概率预测数据发送端的发送速度,提出了基于 AOS 的 H9urst- 优先级自适应 RED 与动态调度算法;参考文献[15]中针对多

播树中链路时延与节点会话期间的行为稳定性进行研究,提出了适用于高抖动下的 P2P 视频流媒体多播系统;参考文献[16]基于最大流的无线 mesh 网络进行研究,提出了针对负载均衡分配的算法,在减少网络拥塞概率的同时,降低了网络时延;参考文献[17]中针对无线 mesh 网络中的数据流量分配问题,提出了基于博弈论的公平性路由协议,将负载均衡地分配到每个枝节点上,从而降低了根节点的负载,实验结果表明,该策略降低了节点端到端的网络吞吐量和平均时延;参考文献[18]中针对网络时延和时延抖动直接影响网络 QoS,提出了具有最大速率控制的速率保障(maximum rate control-guaranteed rate, MRC-GR)算法,让每个节点执行 MRC-GR 算法,保障流 f 在 $MRC^i(p_j)$ 和 $GRC^i(p_j) + \beta^i$ 之间传输,对流的最大速率进行控制。

针对上述情况,本文提出了无线 mesh 网络中传输速率抖动的抑制策略,其核心思想为:

- 对协同服务节点集进行抖动预测^[19-21],选择合适的节点进行流媒体访问,保证下载的流畅性,减小传输过程中出现传输速率抖动现象。
- 对正在实施流媒体访问服务的节点实行拥塞检测和抖动监测,对累计抖动超过容忍度,或发生拥塞且达到自恢复失效临界的节点,采用失效恢复策略进行替换处理。

2 抖动抑制策略研究与分析

2.1 模型建立

无线 mesh 和流媒体技术对带宽具有较高要求,当访问节点过多、带宽资源有限、出现拥塞时,源端节点将会限制上传链路的传输速率,使得接收端的流媒体播放出现不流畅、断断续续等状况,严重影响网络服务质量的可靠性。对此,针对无线 mesh 网络中的传输速率抖动行为提出了抖动抑制策略,核心策略如下。

(1) 基于抖动预测的邻居选择策略

当节点选择源端时,对邻近节点的抖动概率进行预测,根据节点的历史交易情况、在线时长、带宽等因素预测节点发生传输速率抖动的概率,保障传输过程中获得更好的服务质量。

(2) 基于抖动检测的节点失效恢复策略

当节点进行流媒体资源传输时,首先对源端的拥塞状态进行判定,当节点的拥塞超过一定阈值时,对节点采用基于抖动预测的邻居选择策略,预测节点发生抖动的概

率,判定抖动恢复的自我调节能力;当源端的抖动现象严重时,认为该节点没有很好地实行上传,甚至制约了节点间的资源访问,针对这类情况,选择合适的节点对其进行替换,抑制传输速率抖动现象;当未发生拥塞时,认为节点带宽资源充足,采用限速行为的概率较小,只累计节点的抖动值,允许网络中存在一定程度的抖动行为。一旦节点的抖动累计值超过了抖动阈值,认为该节点失效,选择节点进行替换。

针对上述内容,无线 mesh 网络中节点传输速率抖动抑制策略的流程如图 1 所示。

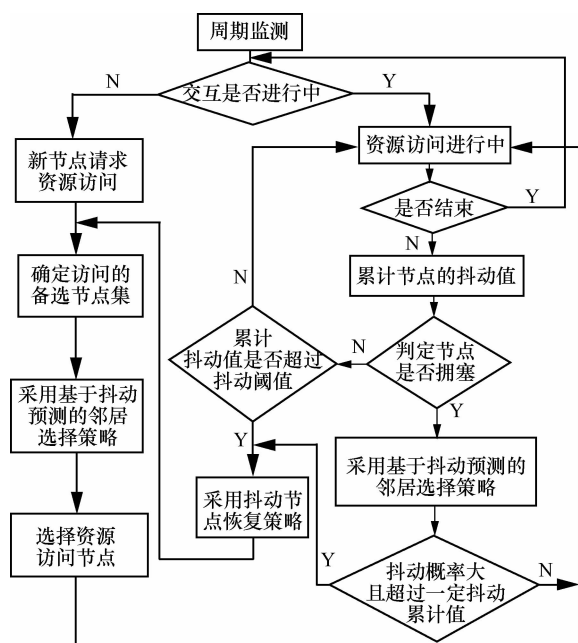


图 1 抖动抑制策略流程

2.2 基于博弈的信任机制

无线 mesh 网络中节点带宽有限,流媒体播放又要求流畅性和清晰度,为了能更好地保障服务质量,避免传输过程中因传输速率抖动造成资源的不流畅现象,必然要选择可信的节点作为源端节点。

信任机制通过建立量化的评价体系,计算节点信任值来度量节点提供服务的“可信程度”,是节点行为研究过程中一个关键内容。无线 mesh 网络是无中心、自组织,网络中共享的资源来自于系统各个终端用户节点,而节点具有理性、自私性,难以保证节点在资源传输交互时提供的服务具有可信度,因此信任模型的建立对于网络中节点行为研究具有深刻意义。

当网络中节点访问邻近节点请求流媒体文件时,假设

每个节点都是理性的,传输速率快慢不一致,尤其自身带宽紧缺时会出现限速行为。对此,根据节点历史交易情况获得其可信度,其模型如下。

交易情况类型:交易成功(success, S_s)、交易失败(fail, S_f)。

策略: $S_i(t)=[S_s, S_f]$, 其中, $S_i(t)$ 表示节点 i 在 t 时刻交易状况。

为了保证节点交易过程中节点服务的质量,本文基于博弈方式^[22,23]对最近两次交易情况进行讨论,见表 1。

表 1 迭代过程中节点信任度系数 $r(t)$ 值

t	$t-1$	
	S_s	S_f
S_s	$(-H_i(2), -H_i(2))$	$(-H_i(2), H_i(1))$
S_f	$(H_i(1), -H_i(2))$	$(H_i(1), H_i(1))$

其中, $H_i(k)$ 表示节点 i 在交易成功或失败时受到的奖励力度,其中 k 表示节点 i 交易成功 ($k=1$) 或交易失败 ($k=2$) 情况。从表 1 可知,最佳的情况为: $(S_i(t-1), S_i(t-2))=((S_s, S_s))$, 即: (成功, 成功), 连续两次良好交易获得的信任最多; 反之, 一旦节点 i 连续两次因拥塞限速出现抖动行为造成交易失败, 其信任值将会大幅度下降。

节点 i 在 t 时刻的信任值主要包括 3 个部分, 包括: 历史交易累计信任值 C 、近期交易信任值 $r(t)$ 以及 t 时刻节点 i 的信任值。其中信任值 C 主要涉及节点 i 以往交易成功次数 m 与失败次数 n , 根据成功概率表明其信任值, 具体定义如下^[24,25]。

定义 1 根据节点的历史交易情况计算节点信任度 C :

$$C_i(t) = \frac{m}{m+n} \quad (1)$$

定义 2 节点 i 的交易信任度计算如下:

$$trust_i(t) = \begin{cases} \alpha trust_i(t-1) + (1-\alpha)(\beta C_i(t) + (1-\beta)r(t)), & t > 0 \\ 1, & t = 0 \end{cases} \quad (2)$$

其中, α 是一个常数系数, 表示节点交易信任值对上一次交易的依赖度。通过计算节点信任值, 判断该节点是否可信, 当节点之间进行信息交互时, 尽可能地选择与可信程度较高的节点进行连接交互, 从而减少交互时因拥塞限速、传输断断续续等不良交互行为, 提高通信链路的可靠性, 同时保证服务可信度。

2.3 基于抖动预测的邻居选择策略

当源节点带宽资源不足时, 常常通过限制上传速率来避免拥塞, 造成访问端接收的流媒体资源服务质量低下, 选择具有良好传输品性的节点能更有效降低节点的抖动行为。针对这种情况, 当节点请求访问时, 选择提供文件 f_i



的邻近节点集,根据节点交易情况计算其交易信任值,通过共享文件数量、在线时长、交易成功/失败次数、带宽等特征值计算节点发生抖动的概率,选择抖动概率较低的邻居节点作为源端进行流媒体访问,保障通信链路传输的服务质量^[26,27]。其算法描述如下。

步骤 1 确定访问节点集 $N=\{1,2,3,\dots,c\}$,其中 c 表示请求节点的个数,并进行锁定 $choke(N)$,BTNS(Biggest target node set)= $\varnothing$ 。

步骤 2 For $j=1$ to c

计算 $U_churn(j,t)$

End For

步骤 3 Sort N on $U_churn(j,t)$

步骤 4 For $i=1, j \leq c$ 并且 $U_churn(j,t) \leq$ 抖动概率阈值

$Unchoke(N(i))$;

End For

步骤 5 根据 $Unchoke$ 的节点确定最大目标节点 BTNS。

其中, $U_churn(j,t)$ 表示抖动预测值。

参考文献[27,28]对服务效用函数进行了较为详细的研究,基于参考文献[27,28]的研究成果,设 t 时刻,节点 i 通过文件的上传参与网络中资源的共享,根据上传成功与失败的信息获取文件上传收益 $U_{file}(i,t)$ 为:

$$U_{file}(i,t) = H_i(1) \times \sum_{f_s \in List_success(i,t)} popular(f_s) \times size(f_s) \times count_s(f_s) \times \overline{speed(i,t)} - H_i(2) \times \sum_{f_f \in List_fail(i,t)} popular(f_f) \times size(f_f) \times count_f(f_f) \times \overline{speed(i,t)} \quad (3)$$

其中, $popular(f_s)$ 表示文件 f_s 受欢迎度,取值范围为 $[0,1]$,数值越大表示共享的文件受欢迎程度越高、价值越大。反之,数值为 0 则表示该文件是毫无价值的垃圾文件; $H_i(1)$ 、 $H_i(2)$ 分别表示节点 i 在上传成功和失败时对应的奖励度; $size$ 表示文件大小, $count$ 表示文件被上传/下载次数; $\overline{speed}$ 表示上传传输速度。节点上传成功越多、失败越少,表明该节点在传输过程中服务质量越好,性能越高。

定义 3 资源分享节点在每次交易过程中会出现交易成功、交易失败以及无法满足所有用户需求等情况,这些历史交易数据可以用来预测该节点之后交易行为的情况,则节点的交易收益值 $U_{deal}(i,t)$ 为:

$$U_{deal}(i,t) = \eta_1 H_i(1) count_s(f_s) - H_i(2) (\eta_2 count_f(f_f) + \eta_3 count_{no_sat}(f_k)) \quad (4)$$

其中, $count_s$ 、 $count_f$ 、 $count_{no_sat}$ 分别表示文件成功交易次数、交易失败次数、为搁置需求交易次数; η_1 、 η_2 、 η_3 是常数系数,分别表示上述 3 种节点数量的权重,取值范围都在 $[0,1]$ 之间,且 $\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 = 1$ 。相对于文件上传收益,此交易收益为小幅度的奖罚,根据其历史交易情况微调节点 i 作为上传节点时的交易收益值,从而更好地预测节点 i 的未来交易行为。

定义 4 当节点的在线时长超过 1 天时,则认为该节点的上下线抖动几率较小,由在线时长带来的贡献值越高,那么节点的在线时长收益值公式 U_{online} 为:

$$U_{online}(i,t) = \begin{cases} e^{\frac{1-24}{online_{i,t}}}, & online < 24 \text{ h} \\ 1, & online \geq 24 \text{ h} \end{cases} \quad (5)$$

其中, $online$ 表示节点 i 的在线时长,当节点的在线时长小于 24 h 时,取值范围为 $(0,1)$, $online$ 越小,则节点在线时长收益值就越小,当 $online$ 趋向于 24 h 时,在线收益值趋向于 1。当节点的在线时长超过 24 h,则认为该节点上下线抖动几率较小,设置固定值为 1。

定义 5 节点 i 根据 t 时刻的交易信任值 $trust$ 、文件上传收益值 U_{file} 、交易收益值 U_{deal} 以及在线时长收益值 U_{online} 计算效用函数值^[27,29],构建效用函数,如下:

$$U(i,t) = \frac{\sigma(\Psi U(i,t-1) + trust(i,t) + U_{file}(i,t) + U_{deal}(i,t) - U_{online}(i,t))}{\min\{Ru(i,t), 5\}} \quad (6)$$

其中,常数 Ψ 表示对前一次效用值计算的依赖度; Ru 表示节点 i 在 t 时刻的时延。

定义 6 网络中一些节点因自身物理配置限制,出现“低贡献高收入、高贡献低收入”等情况,加入带宽因素 BW ^[27,28],则此时节点 i 服务性能函数 $U_{service}(i,t)$ 为:

$$U_{service}(i,t) = \frac{U(i,t)}{BW(i,t)} \quad (7)$$

其中,节点的服务性能值与物理配置值成比值关系,使那些尽全力贡献却因物理配置低导致的不公平现象得到了合理的处理。节点 i 的服务性能值越大,表示节点 i 的性能越好,发生抖动的概率越小,抖动概率 $U_churn(i,t)$ 计算如下:

$$U_churn(i,t) = 1 - \theta U_{service}(i,t) \quad (8)$$

θ 是一个常数系数,通过计算节点的抖动值选择抖动率较小的节点进行资源访问,抖动值越小,表示节点传输

链路的可靠性越高,服务性能越佳。

2.4 基于拥塞检测的抖动节点失效恢复策略

当源端节点负载过大发生拥塞时,预测发生抖动的概率,判断是否具有抖动恢复的自我调节能力。当节点预测的抖动概率过大或者累计抖动值超过抖动阈值时,认为该源端提供的服务质量低下,为保障之后的流媒体服务播放质量,判定该源节点失效,不宜继续访问,采用基于抖动预测的邻居选择策略选择合适的替代节点对其进行替换。策略算法的具体步骤如下。

当节点在进行流媒体访问时,假设:

- 节点的抖动阈值设定为 $churnR$;
- 源节点 i 的最大负载能力为 WLM_{ax_i} (the max of workload);
- 节点 i 在 t 时刻其负载值为 $workLoad_i(t)$, 抖动累计值为 $R(t)$;
- 节点连接到替代节点之后如何继续之前的流媒体资源访问不予探讨,假设与选择的替代节点能顺利进行访问。

周期监测算法描述如下^[9,16-18]。

步骤 1 计算传输交易过程中节点 i 在 t 时刻的传输速率抖动值 $D(t)$

假设节点 i 在 t 和 $t-1$ 时刻传输速率分别为 $speed(t)$ 、 $speed(t-1)$, 则其传输速率抖动 $D(t)$ 为:

$$D(t)=\begin{cases} |speed(t)-speed(t-1)|, & t>1 \\ 0, & t=0,1 \end{cases} \quad (9)$$

步骤 2 根据 t 时刻的抖动值 $D(t)$ 计算节点 i 到 t 时刻为止的累计抖动值 $R(t)$:

$$R(t)=\varepsilon_{0\leq j\leq t}D(j) \quad (10)$$

步骤 3 $R(t)$ 与 $churnR$ 进行比较,判定节点 i 是否失效

步骤 4 If $R(t)>churnR$

Goto 步骤 7

End If

步骤 5 If 源端 i 发生拥塞

采用基于抖动预测的邻居选择策略,预测节点 i 发生抖动的概率

End If

步骤 6 If 抖动概率<抖动概率阈值

Goto 步骤 7、步骤 8

End If

步骤 7 抖动概率过大或抖动累计值超额,表明节点

i 交易状态不良,通信链路的传输性能低下。对周围邻近节点采用基于抖动预测的邻居选择策略,选择合适的节点进行替换。

步骤 8 等待进入一下个周期监测。

3 仿真实验

3.1 仿真环境

通过对源端进行周期监测获得行为特征值,根据负载能力判定判断是否满足节点需求,对网络中抖动行为进行抑制。实验的网络环境设置为:终端节点 200 个,分为如下 4 类。

- 超级节点:无线 mesh 网络由 mesh 终端盒 mesh 路由组成,mesh 路由作为信息转发的中转站,负载较重,时常充当超级节点的角色。
- 热心节点:积极为网络做贡献的 mesh 终端节点。
- 普通节点:时常为网络做贡献,具有一定负载的终端节点。
- 空闲节点:负载程度较低的终端节点。

根据上述假设,4 类节点的负载状态设置见表 2。

表 2 仿真初始时环境设置

类型值	节点类型	负载比率	节点数
$p=1$	超级节点	0.90~1	20
$p=2$	热心节点	0.6~0.90	60
$p=3$	普通节点	0.3~0.6	80
$p=4$	空闲节点	0~0.3	40

仿真实验主要从 3 个方面进行仿真验证。

- 针对策略中系数设定进行验证,通过对抖动阈值、节点带宽、抖动概率设定不同的数值,查看节点的抖动情况。
- 节点数量统计,通过对网络中节点进行周期监测,统计网络中发生拥塞节点、抖动失效节点等数量,从而验证该抑制策略的有效性。
- 通过不同策略比较,查看节点传输速率、传输速率抖动等信息变化来验证策略有效性。

3.2 节点抖动对网络性能影响仿真

3.2.1 实验 1:抖动阈值对网络性能影响仿真

根据不同的抖动阈值记录下载节点接收的传输速率和传输速率抖动,讨论节点抖动阈值对网络传输性能的影响,假设如下。



- 不同抖动阈值对应每个周期的预选节点一致,即:节点的负载、数量、类型等。
- 当检测发生抖动时选择的替换节点顺序一致,即:不同抖动阈值实验时,第 i 次发生抖动时查找的替代节点为 $P(i)$ 一致。
- 抖动阈值设定为 2、4、6、8、10。

当上传节点的累计传输速率抖动超过阈值时,更换新的替代节点 $P(i)$,实验结果如图 2 所示。

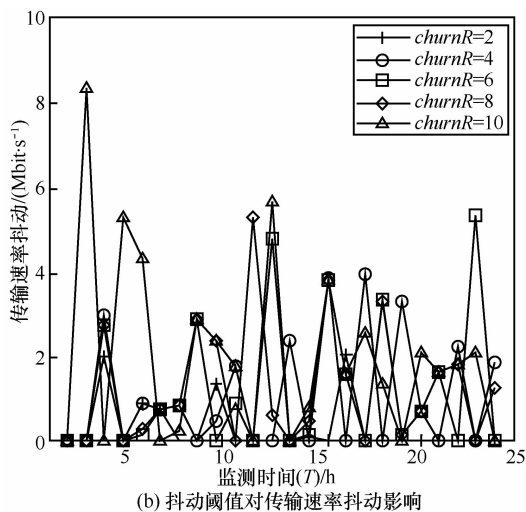
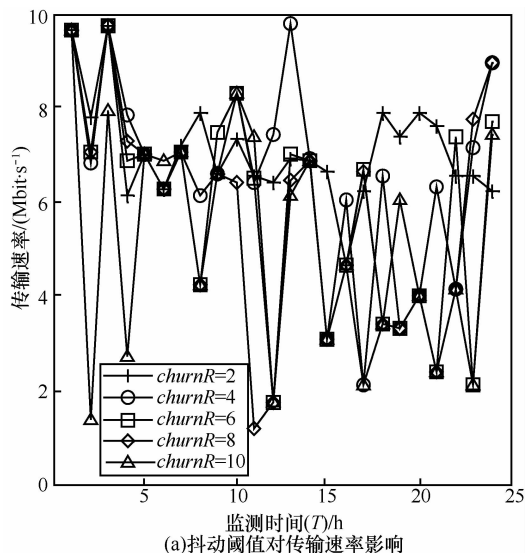


图 2 抖动阈值对网络性能影响

实验表明:抖动阈值 $churnR$ 与速率波动成正比,与协同服务节点替换频率成反比。

3.2.2 实验 2: 带宽因素对服务质量影响

带宽是无线 mesh 网络中节点的重要指标,当节点自身受物理设置限制,即使极力为网络做贡献也被划分为服务

质量低下,存在明显不公平性。针对这类情况对构建的模型式 6、7、8 的有效性进行仿真,实验结果如图 3 所示。

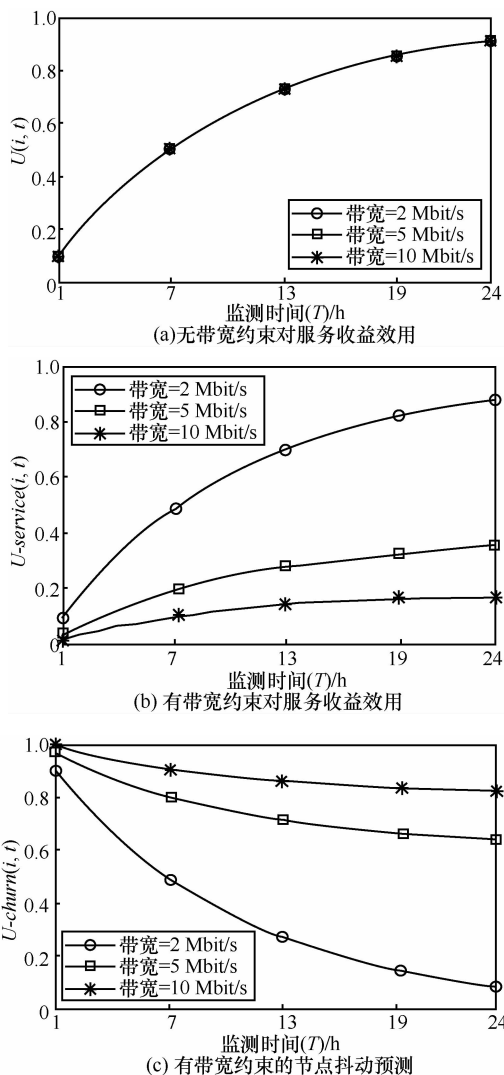


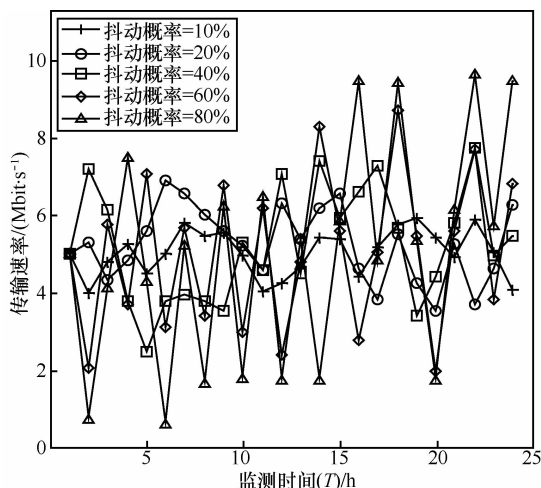
图 3 带宽对服务质量影响

实验结果表明,加入带宽因素能合理地避免物理配置造成的不公平性,加强链路传输时抖动预测地准确性。

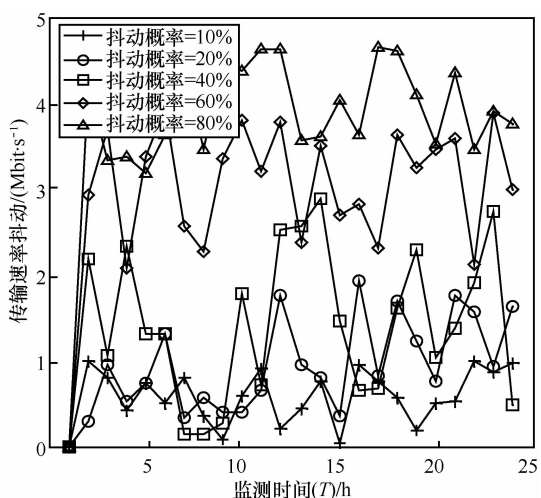
3.2.3 实验 3: 抖动概率对源端节点性能影响

对网络中节点的抖动对通信链路传输时性能的影响进行分析,假设选择 5 个节点,它们在传输过程中发生抖动的概率(即传输速率的流畅性)分别为:10%、20%、40%、60%和 80%,其余条件都一致,实验结果如图 4 所示。

实验结果表明,传输速率和抖动概率差异越小,波动越平缓;反之,波动越大;此外,对于流媒体接收端而言,传输速率越快越好,但是如果抖动发生的概率越大,同样不能享受较好的服务。



(a) 抖动概率对传输速率影响



(b) 抖动概率对传输速率抖动影响

图4 抖动概率对源端节点性能影响

上述3个实验表明,流媒体接收端为了在观看过程中能播放流畅,应该选择抖动概率较小、传输速率波动较小的节点作为源节点,从而保证流媒体访问的服务质量。

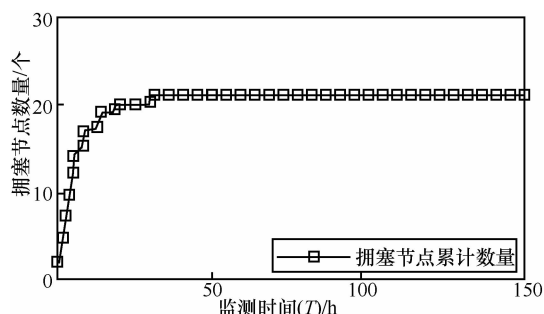
3.3 抖动抑制策略有效性仿真

3.3.1 实验1:抖动抑制策略对节点数量类型数量影响仿真

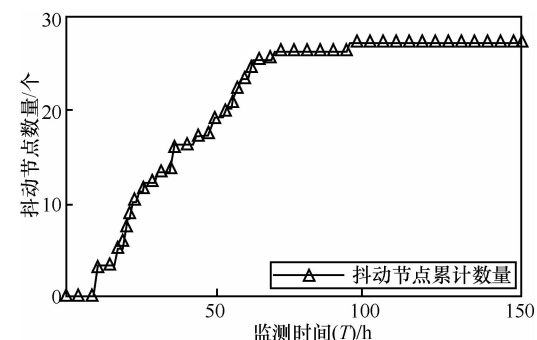
针对抖动抑制策略的有效性验证,对环境中的节点数量进行统计。假设节点数量为200个,监测周期 $T=1$ h,根据仿真环境中的网络布局对节点进行如下设定:

- 每个监测周期中有10~40个节点进行流媒体交互。
- 对于流媒体访问节点,一旦访问结束则断开连接。
- 当节点的累计抖动值超过设定的抖动阈值,则认为抖动超载,断开连接。

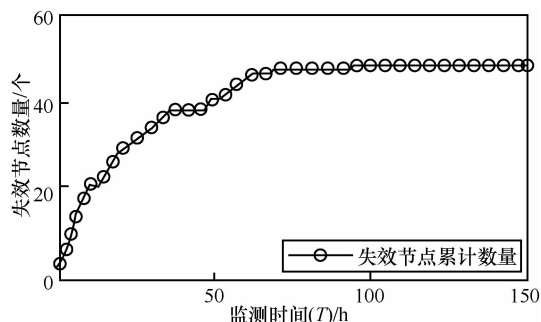
实验周期为 T ,共监测150个周期,网络系统抖动抑制策略有效性如图5所示。其中,前50个监测周期中网络系



(a) 拥塞状态下抖动抑制策略有效性



(b) 过载状态下抖动抑制策略有效性



(c) 失效状态下抖动抑制策略有效性

图5 抖动抑制策略对节点状态数量影响

统拥塞节点、抖动失效节点和总失效节点数累计数量见表3。

实验结果表明:抑制策略能有效地抑制网络中因拥塞而引发的抖动概率,使网络系统节点的抖动概率由最初的50.5%下降到5.75%。

3.3.2 实验2:不同抖动抑制策略对网络节点行为影响仿真

抖动抑制策略是基于拥塞和抖动程度提出的,通过对抖动策略与未采取策略时的传输速率与传输速率抖动进行比较,讨论源节点在不同拥塞度和抖动值时对网络中节点行为的影响,从而验证仿真抖动抑制策略的有效性以及节点访问初期抖动预测的必要性。假设监测时间=50h,实验数据设定见表4。

抖动策略对表4中不同状态节点服务性能影响仿真结果如图6所示(注:图中未采取策略是指网络系统在未加干预状态下的自动处置方式)。

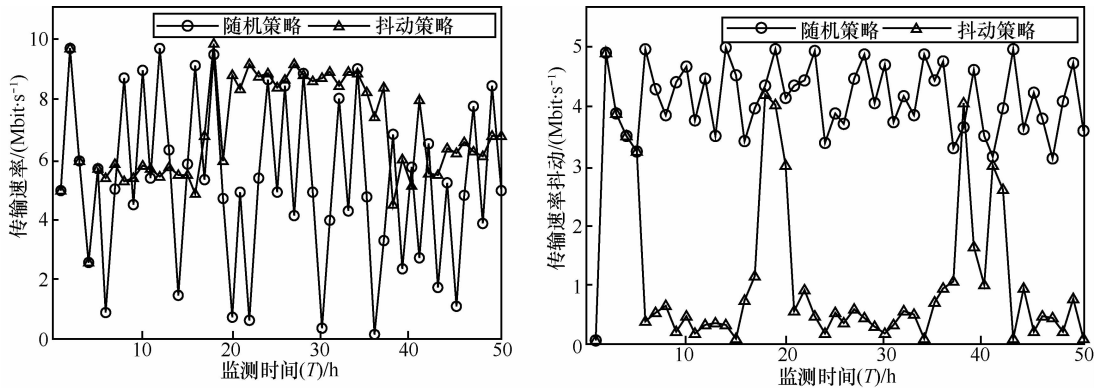


表 3 节点数量统计

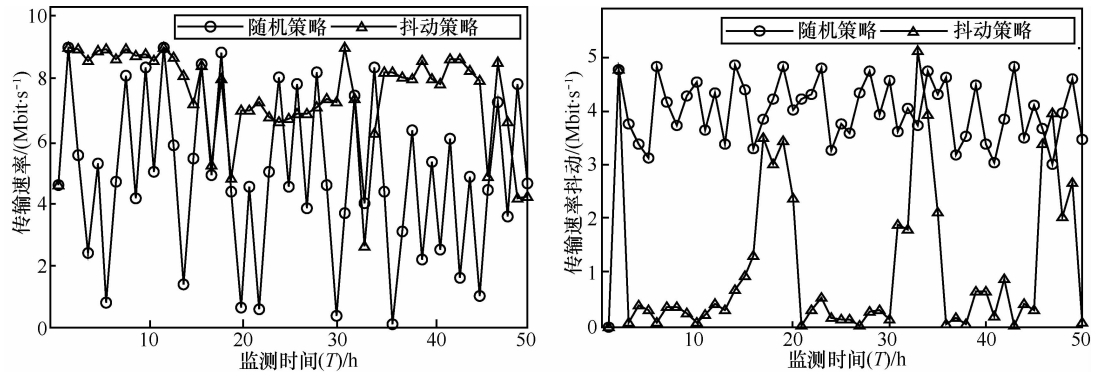
节点累计数量/个	监测时段				
	$T=1\sim10$	$T=11\sim20$	$T=21\sim30$	$T=31\sim40$	$T=41\sim50$
拥塞节点数量	202	302	416	398	385
拥塞失效节点数量	8	6	1	0	1
拥塞未失效节点数量	194	296	415	398	384
抖动过载节点数量	2	7	7	7	8
总失效节点数量	10	13	8	7	9

表 4 仿真初期节点设置

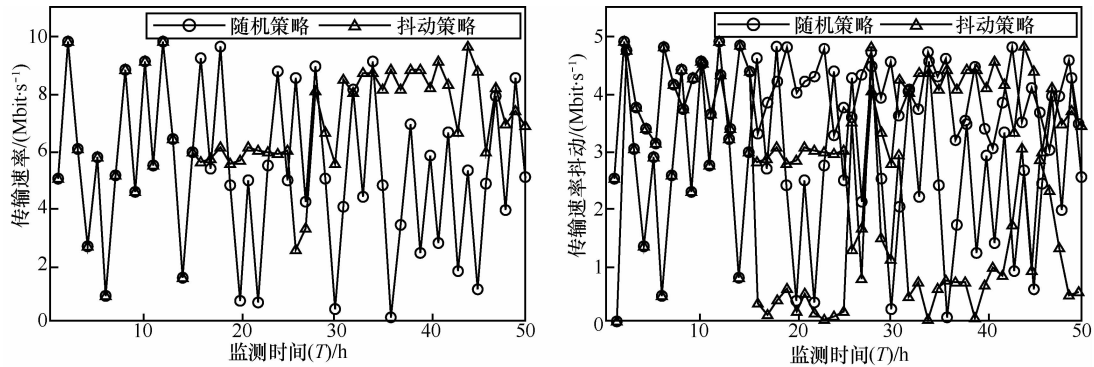
源端初始设定	节点状态 1	节点状态 2	节点状态 3	节点状态 4
节点拥塞程度(自身负载/总带宽)	90%	10%	10%	90%
抖动程度(抖动累计值/抖动阈值)	10%	90%	10%	90%



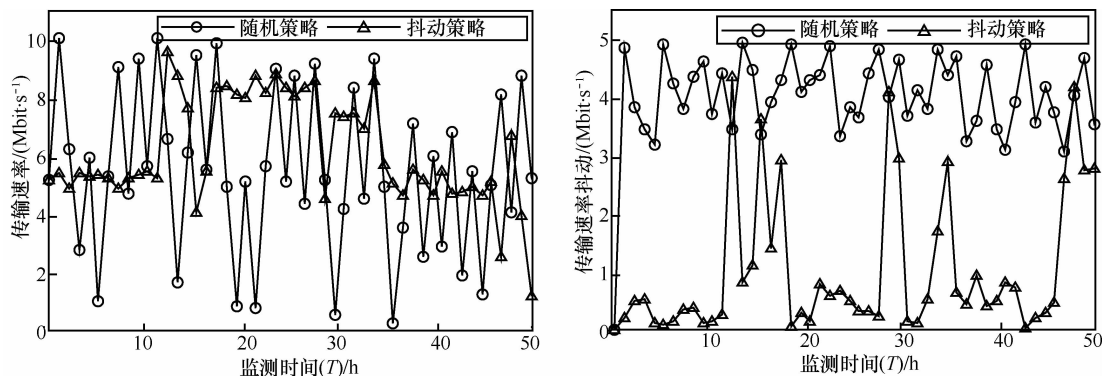
(a) 不同策略对状态1的服务性能影响



(b) 不同策略对状态2的服务性能影响



(c) 不同策略对状态3的服务性能影响



(d) 不同策略对状态4的服务性能影响

图 6 策略对不同状态节点服务性能影响

实验结果表明:

- 抖动是客观存在的,且不可消除,网络系统对抖动具有一定容忍度;
- 抖动抑制是一个周而复始的过程,依据网络状态自适应启动;
- 流媒体访问初期对源端采取抖动预测、选择较优节点进行访问具有必要性。

实验结果表明,本文提出的传输速率抖动抑制策略能有效地降低网络中的抖动行为,提高通信链路的可靠性和服务的可信度,保证流媒体服务的质量。

4 结束语

对无线 mesh 网络中节点因拥塞限速引发的传输速率抖动现象进行了较为详细的分析和研究,提出了基于抖动预测的邻居选择策略和基于周期检测的节点失效恢复策略。实验结果表明,在 150 个监测周期内,网络中节点抖动概率从 50.5% 下降到 5.75%,本文提出的抖动抑制策略能有效地抑制节点的抖动行为,降低网络拥塞发生概率,提高网络的服务性能。

本文采用 MATLAB 软件进行仿真,实验结果数据可能会与实际情况有些差异。

参考文献

- 1 作国锋. 认知无线 mesh 网络若干关键技术研究. 解放军信息工程大学博士学位论文, 2011
- 2 文吉刚, 谢鲲, 谢高岗等. 基于分簇 P2P 的多跳无线 mesh 网络资源检索与分发算法. 通信学报, 2012, 33(11):128~135
- 3 Salta N, Morla R, Ricardo M. Improving P2P video streaming in wireless mesh networks. Proceedings of the 9th IFIP Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net), Juan Les Pins, France, 2010

- 4 无线网状网 mesh 技术发展现状与趋势分析. <http://www.docin.com/p-50273766.html>, 2014
- 5 Stutzbach D, Rejaie R. Understanding churn in peer-to-peer networks. Proceedings of the 6th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement, Rio de Janeiro, Brazil, 2006: 189~202
- 6 Godfrey P, Shenker S, Stoica I. Minimizing churn in distributed systems. ACM, 2006,36(4): 147~158
- 7 付志鹏, 王怀民, 史殿习等. 对等网络的抖动特性研究综述. 计算机学报, 2011, 34(9):1563~1577
- 8 张宇翔, 杨冬, 张宏科. P2P 网络中 Churn 问题研究. 软件学报, 2009, 20(5):1362~1376
- 9 郝俊瑞, 余少华. 城域以太网中基于抖动检测的拥塞控制算法. 通信学报, 2009, 30(1):121~127
- 10 陈志刚, 曾锋, 李庆华. 无线 mesh 网中时延约束抖动优化的多路径流量分配算法. 通信学报, 2011, 32(1):1~8
- 11 Ghaeini H R, Akbari B, Barekattain B. An adaptive packet loss recovery method for peer-to-peer video streaming over wireless mesh network. Emerging Technologies for Information Systems, Computing, and Management, 2013(236): 713~721
- 12 羊秋玲, 李陶深, 黄向党. 无线 mesh 网络时延控制机制研究. 通信学报, 2011(9A):64~69
- 13 Suto K, Nishiyama H, Kato N, et al. THUP: a P2P network robust to churn and DoS attack based on bimodal degree distribution. IEEE Journal, 2013, 31(9): 247~256
- 14 别玉霞, 潘成胜, 刘海燕等. 基于 AOS 的 Hurst- 优先级自适应 RED 与动态调度算法. 通信学报, 2012(10):156~165
- 15 Kwon O C, Song H. Adaptive tree-based P2P video streaming multicast system under high peer-churn rate. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2013, 24(3): 203~216
- 16 李陶深, 韦亚欢, 葛志辉. 基于最大流的无线 mesh 网络负载均衡信道分配算法. 通信学报, 2012(Z1):35~40
- 17 姬文江, 马建峰, 田有亮等. 无线 mesh 网中一种基于博弈论的公平性路由协议. 通信学报, 2012(11):17~23
- 18 邱茜, 李玉峰, 邬江兴. 提供端到端时延和时延抖动保障的 QoS 控制. 电子学报, 2009, 37(3):567~573



- 19 Phadke C, Uzunalioglu H, Mendiratta V B, *et al.* Prediction of subscriber churn using social network analysis. *Bell Labs Technical Journal*, 2013, 17(4): 63~75
- 20 Ramsey M S. Exploring models with social network analytics to improve churn prediction of mobile phone operators. *Northcentral University*, 2013
- 21 Steiner M, En-Najjary T, Biersack E W. Long term study of peer behavior in the KAD DHT. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2009, 17 (6):1371~1384
- 22 Tembine H, Altman E, ElAzouzi R, *et al.* Evolutionary games in wireless networks. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, 2010, 40(3):634~646
- 23 姜永, 陈山枝, 胡博. 异构无线网络中基于 Stackelberg 博弈的分布式定价和资源分配算法. *通信学报*, 2013, 34(1):61~68
- 24 李文娇. P2P 网络搭便车行为抑制方法研究. 郑州大学硕士学位论文, 2011
- 25 李勇军, 代亚非. 对等网络信任机制研究. *计算机学报*, 2010(3): 390~405
- 26 Mol J J D, Pouwelse J A, Meulpolder M, *et al.* Give-to-get: an algorithm for P2P video-on-demand. *Proceedings of Multimedia Computing and Networking (MMCN)*, San Jose, California, 2008
- 27 余一娇. 基于文件复制的对等网络搭便车抑制技术研究. 华中科技大学博士学位论文, 2009
- 28 刘建辉, 王君, 冀常鹏等. P2P 中应用平衡机制抑制搭便车行为的研究. *计算机科学*, 2013, 30(7):36~39
- 29 Ramaswamy L, Liu L. Free riding: a new challenge to peer-to-peer file sharing systems. *Proceedings of the 36th Hawaii International Conference, Hawaii, USA*, 2003

[作者简介]



乐光学,男,博士,嘉兴学院教授,主要研究方向为网络与分布式系统。



骆丹,女,江西理工大学硕士生,主要研究方向为网络与分布式系统。



刘建生,男,江西理工大学副教授,主要研究方向为计算机网络、智能计算。

李明明,女,江西理工大学硕士生,主要研究方向为网络与分布式系统。

(收稿日期:2014-08-07)

(上接第 88 页)

Proceedings of 12th IEEE/ACM International Symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications, Vancouver, BC, Canada, 2008: 27~34.

- 21 Stoica I, Morris R, Karger D, *et al.* Chord: a scalable peer-to-peer lookup service for Internet applications. *Proceedings of the 2001 SIGCOMM Conference*, New York, USA, 2001

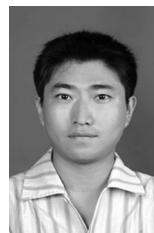


胡华,男,博士,杭州电子科技大学教授,主要研究方向为分布式系统、数据库技术。

[作者简介]



李涛,男,杭州电子科技大学硕士生,主要研究方向为分布式系统。



胡海洋,男,博士,杭州电子科技大学教授,主要研究方向为分布式系统、工作流技术。

(收稿日期:2014-07-20)