



无线 Mesh 网络中的搭便车行为分析与抑制策略研究 *

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: 搭便车是网络普遍存在的问题, 搭便车节点的规模直接影响无线 mesh 网络的性能。通过分析无线 mesh 网络中节点的搭便车行为特征, 提出了基于分等级奖罚的抑制策略。首先判定网络是否会造成拥塞, 当网络发生拥塞时, 依据节点的贡献值优先满足贡献值高的节点, 使搭便车节点受到抑制。验证结果表明, 该方法能有效抑制节点的搭便车行为, 提高网络的服务性能。

关键词: 无线 mesh 网络; 搭便车; 网络拥塞; 信任机制; 奖罚机制

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.05.010

A Survey on Free Riding in 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, Ganzhou 341000, China)

Abstract: A large amounts of surveys results show that free riding is a common phenomenon in today's network. Because of wireless mesh networks with limited bandwidth, a large number of free riders lead to network congestion so that will impact the performance of network. A strategy to overcome free riders in wireless mesh network was presented. Firstly, to determine whether could cause congestion as the premise, by trust mechanism based on game and reward and punishment mechanism in grades, made the overload nodes priority to meet the contribution value higher nodes. Free riders in the wireless mesh network were suppressed by this way, and the method was verified by simulation.

Key words: wireless mesh network, free riding, congestion detection, trust mechanism, reward and punishment mechanism

1 引言

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^[1,2], 是目前比较公认的无线接入网络技术之一。无线 mesh 网络中存在大量的移动终端, 而流媒体技术是当今互联网承载的主要业务之一, 对带宽具有较高要求。

根据艾瑞网、ComScore 和 CNNIC^[3-5]数据显示, 到 2013 年 12 月为止, 中国网民数量达到 6.18 亿人, 手机网民规模超过 5 亿人(占整体比例 81.0%), 其中网络音乐和网络视频的网民使用率分别为 73.4%和 69.3%, 流媒体占据比例较大且有递增趋势。然而手机终端的储蓄电池、内存等设置限制了节点的在线时长和带宽节点的频繁加入与离开以及大规模节点的访问必然会影响网络畅通。此外, 网络中

* 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)



并非每个节点都遵循“平等互惠,友好共处”理念,当搭便车(free riding)节点规模过大、占用带宽过多时,将严重影响无线 mesh 网络的性能。

Adar E 和 Huberman B A 对 Gnutella 上的流量测量结果^[9]显示,被监测的 33 335 个节点中有将近 22 000 个节点不共享文件,其比例接近 66%;1 667 个节点(占 5%)共享了 2 182 087 个文件(占有所有文件的 70%),极少数的节点承担了大部分的回应请求,笔者将这种行为称为搭便车。参考文献[7]将该数据与参考文献[8]中的数据进行对比发现,该系统中的搭便车现象已经存在了 5 年,不但没有得到减缓反而更加严重。

本文从节点搭便车抑制出发,提出了一种平滑无线 mesh 网络中节点流量过载将造成拥塞的算法,其特点如下。

- 无线 mesh 网络拥塞判定:为了避免资源分享节点造成拥塞,需要对节点拥塞状况进行预判定。当造成拥塞不能满足全部节点请求时,优先满足贡献值高的节点,抑制贡献值低的搭便车节点。
- 分等级的奖罚策略:根据无线 mesh 网络中节点贡献能力的差异,将节点分为 4 类——超级节点、热心节点(EN)、普通节点和搭便车节点,通过判定节点类型给予不同程度的奖罚。

2 国内外研究现状

1965 年美国经济学家曼柯·奥尔逊在《集体行动的逻辑:公共利益和团体理论》^[9]中首次提出了“搭便车”概念。2000 年 Adar E 等人将此概念用于对计算机领域中节点行为的描述,其代表作^[6]的发表引起了计算机领域研究者的关注,通过对节点的在线时长、带宽等行为特征进行分析,提出相对应的搭便车抑制机制。

最初研究者们对节点的类型并未加以区分,在研究过程中发现节点的贡献能力具有差异性,好的分类能更贴近网络的实际状况,表 1 对现有参考文献的节点分类进行了简要统计。

无线 mesh 网络中存在大量的移动用户,当电池耗尽时不得不退出网络,在线时长较短;移动设备的 CPU 计算性能较低、内存较小。节点加入网络获取所需的资源后立刻退出网络,一定程度上充当着搭便车节点角色。不少研究者在对节点的贡献度计算时加入带宽数字特征,减小节点贡献值受物理接入方式局限性的影响,更具公平性。参考文献[14]对文件的数量、大小以及被下载的次数等文件

表 1 节点类型分类统计

时间	作者	分类
2005 年	Anceaume E 等 ^[10]	理性、搭便车、贪婪
2008 年	余一娇等 ^[7]	热心节点、普通节点
2010 年	陈才等 ^[11]	合作、自私、互惠
2010 年	田春岐等 ^[12]	超级节点、普通节点
2011 年	李文娇 ^[13]	热心节点、自私节点(SN)、理性节点(RN)

特性设定有效函数,参考文献[15]认为网络具有异构性,节点提供服务的能力本身就存在显著差异,在其基础之上加入了节点所能提供的最大带宽,减小节点贡献值受物理接入方式局限性的影响。参考文献[16]对参考文献[15]中的带宽因素更具体化,从节点的内存大小、CPU 主频、带宽以及硬盘容量等因素综合考虑节点的物理配置值。

参考文献[17]的结果显示在线时长达 2 h 及以上的节点,其中只有 20%的节点其在线时长可达到 24 h,参考文献[18]显示在 Maze 系统中普通用户在线时长为 2.89 h,而搭便车者相对较短,大约为 1.15 h,参考文献[14]表明当系统生命周期增加到 10 倍寿命时,搭便车行为可以得到有效控制。

参考文献 [19] 将信任值分为直接信任值和间接信任值,利用加权平均法计算节点信任值。参考文献[12]提出了一种基于超级节点的信任模型,该模型中以兴趣相似的节点聚成簇,节点之间的信任关系被划分为 3 类:超级节点—超级节点、超级节点—普通节点、普通节点—普通节点,并对不同情况设置信任模型。参考文献[13]中根据节点的信誉值大小将信誉值设定为 3 个等级:L 等级、N 等级、H 等级,当采取搭便车时它们的惩罚力度依次减小。该文中以节点交互前的信誉等级、本次交互活动中所采取的策略、节点的惩罚因子等为依据对节点 i 进行惩罚。参考文献[20]通过分析异构无线网络中移动用户的收益、花费以及及时延开销等因素,提出了基于 Stackelberg 博弈的分布式定价和资源分配算法,并证明了移动用户间的非合作博弈存在纳什均衡点。

参考文献[21]对无线 mesh 网络中大量的移动终端用户之间的非合作交流进行研究,允许任意数量的终端参与到当地的交互中,扩展了演化博弈的框架;并通过演化博弈模型研究 WCDMA (wideband code-division multiple-access) 无线环境下的大量非合作的移动节点之间的交互。参考文献[22]针对无线 mesh 网络中搭便车节点通过调整路由协议最小化其负载逃避监测的行为,提出了一种基于局部观

测信息交互的自适应在线算法。参考文献[2]认为WMN(wireless mesh network)和P2P视频都是新兴研究方向,可以利用研究WMN来提升P2P视频性能,通过对初始解决方案和提议解决方案进行比较,结果显示后者的复制内容和流量都有所降低,性能更佳。参考文献[23]提出了针对搭便车行为的新算法——Give-to-Get,将媒体文件分割成小块,节点需上传已有的小块从而从其他节点处获取其余的小块,而搭便车节点只能在系统空闲时才能获取媒体数据。参考文献[24]中提出了一种基于文件复制的对等网络中的搭便车激励机制——FRWBBA(file replication and workload balancing based approach)。根据节点状态变量与过载阈值比较,判断是否过载,当超过阈值时,将过载节点上的文件转移到邻近的搭便车节点上;反之则认为网络畅通,允许搭便车节点的存在。然而实际中网络具有异构性,再加上流技术的实时性、流式、文件较大等特性,对于流媒体文件和普通的文本文件不加以区分采用文件复制的策略方式在进行流媒体文件贡献时不宜采用,会降低网络的性能。

3 搭便车抑制策略分析与建模

3.1 模型分析

无线mesh网络中节点带宽有限,对于流媒体共享节点,在未过载情况下,尽可能地满足所有用户节点的服务请求;反之,当网络中用户请求繁多而网络资源不足时,将会造成节点拥塞,严重影响用户之间的资源传输交互,降低网络的性能;传输的流畅性直接影响用户对该网络的兴趣,倘若一个热心节点因过载而宕机离开网络,将会使得网络的资源急剧下降,严重影响用户对系统的兴趣,使得更多的节点退出,造成马太效应,导致系统资源变得越来越匮乏,从而造成系统快速崩溃。对此,首先需要对网络的拥塞程度进行判断:

- 当网络资源充足时,允许一定数量的搭便车节点的信息请求,尽可能地满足用户需求;
- 当网络资源缺乏时,根据请求节点贡献度的高低给予回应,一定程度上抑制搭便车节点行为。

此外,网络中节点的贡献能力以及参与网络活动的积极性具有明显差异,为了体现贡献节点的优越以及引导节点积极为网络做贡献,提出了分等级的奖罚机制,主要思路如下。

- 对于不同类型节点:当节点采取搭便车策略时,根据节点为网络做贡献的程度将受到不同程度的奖励/惩罚,如同样采取搭便车策略时,热心节点受到

的惩罚比搭便车节点低。

- 对于同类型节点:节点的奖罚机制属于“罚大于奖”,同一节点在采取搭便车策略时受到的惩罚要大于采取贡献策略获得的奖励,呈现“升慢降快”的过程。

3.2 算法描述

参考文献[24]提出了基于文件复制与负载均衡的算法——FRWBBA,通过设定过载阈值判定监测节点的状态是否过载造成拥塞,而无线mesh网络中流媒体文件较大,需占用一定的带宽,文件复制转移过载负载不适合用于流媒体文件;参考文献[23,25]对网络中视频播放时如何处理搭便车行为,提出了应对策略,其中参考文献[23]针对多用户请求流媒体文件在资源空闲时允许搭便车,反之只允许搭便车节点在系统空闲时才能获取流媒体数据。为了更好地完成用户信息交互,本文结合上述参考文献对网络拥塞进行预测,在维持网络畅通的同时,也在一定程度上抑制了网络中搭便车节点行为。

假设:

- (1) 对节点 $peer$ 中流媒体文件 f_k 访问的节点集有 $N=\{1,2,3,\dots,c\}$;
- (2) 其最大负载能力为 $WLmax_i$;
- (3) 在 t 时刻其负载值为 $workload_i(t)$ 。

当节点集 N 访问节点 $peer$,节点 $peer$ 根据自身负载能力($WLmax_i-workload_i(t)$)对节点集给予回应。若节点 $peer$ 本身过载则拒绝资源访问,反之则根据访问节点 j 在 t 时刻 $attributeP(j,t)$ 贡献能力给予访问,算法如下。

步骤1 确定请求节点集 $N=\{1,2,3,\dots,c\}$,其中 c 表示请求节点的个数,并进行锁定 $choke(N)$,BTNS(the biggest target node set)= Φ

步骤2 If 满足所有用户请求时的负载<网络拥塞阈值($\omega \cdot WLmax_i$)

Goto 步骤6

End If

步骤3 For each $j \in N$

判定节点 j 的类型

计算节点 j 的贡献值 $attributeP(j,t)$

End For

步骤4 Sort N 根据节点贡献值 $attributeP(j,t)$

步骤5 For $j=1, b=WLmax_i-workload_i(t)$ to $b < (1-\omega) \cdot WLmax_i$

Unchoke($N(i)$);



$b = \text{workload}_{i,j}(t)$

End For

步骤 6 根据 Unchoke 的节点确定最大目标节点 BTNS

其中, $\text{workload}_i(t)$ 表示节点 i 与 j 访问带来的负载量。通过如上算法确定最大目标节点集 BTNS, 进行流媒体资源共享。

4 基于分等级奖罚机制的搭便车应对策略

4.1 分等级的奖罚策略模型

实际的网络中节点的贡献能力具有较大差异, 对此, 本文通过节点的文件上传下载收益 U_{file} 以及在线时长收益 U_{online} 判定节点的类型, 判定效用函数如下:

$$U_{\text{type}}(i, t) = \eta \cdot U_{\text{file}}(i, t) + (1 - \eta) \cdot U_{\text{online}}(i, t) \quad (1)$$

其中, $\eta \in [0, 1]$, 为常数定值。根据贡献能力高低将节点类型分为 4 类, 具体如下。

- 超级节点: 无线 mesh 网络中的 mesh 路由。
- 热心节点: 节点的 U_{up} (上传收益) $> U_{\text{down}}$ (下载收益), 节点类型判定效用函数值 $U_{\text{type}} > M_{\text{high}}$ 。
- 普通节点: 节点类型判定效用函数值 $U_{\text{type}} > M_{\text{low}}$, 即效用函数值为 $U_{\text{type}} \in [M_{\text{low}}, M_{\text{high}}]$ 。
- 搭便车节点: 节点只下载不上传或者上传收益很小, 即 $U_{\text{type}} < M_{\text{low}}$ 。

其中, $M_{\text{high}}, M_{\text{low}}$ 为常数定值。通过判别节点类型, 对不同类型的节点采取分等级的搭便车奖罚机制策略, 将受到的奖励/惩罚 $H_i(p, k)$ 分为 4 个等级。

(1) $p = \{\text{超级节点、热心节点、普通节点、搭便车节点}\}; k = \{\text{奖励、惩罚}\}$ 。

(2) $H_i(p, k) \in [0, 1]$ 。

(3) 不同类型节点时, 分为如下两种情况。

- 当 $k = \text{奖励}$ 时, 贡献值越高, $H_i(p, k)$ 值越大, 即 $H_i(\text{超级节点, 奖励}) > H_i(\text{热心节点, 奖励}) > H_i(\text{普通节点, 奖励}) > H_i(\text{搭便车节点, 奖励})$ 。
- 当 $k = \text{惩罚}$ 时, 搭便车程度越大, $H_i(p, k)$ 值越大, 即 $H_i((\text{超级节点, 惩罚}) < H_i(\text{热心节点, 惩罚}) < H_i(\text{普通节点, 惩罚}) < H_i(\text{搭便车节点, 惩罚})$ 。

(4) 同类型节点时: 当 p 一定时, $H_i(p, \text{奖励}) < H_i(p, \text{惩罚})$ 。

根据上述描述做如下定义: 超级节点 ($p=1$)、热心节点 ($p=2$)、普通节点 ($p=3$) 和搭便车节点 ($p=4$); $p=1, 2, 3, 4$ 且

k 表示节点受到奖励 ($k=1$) 或惩罚 ($k=2$), 定义如下。

定义 1 当节点类型为 p 时, 对应的奖罚系数 $H_i(p, k)$ 为:

$$H_i(p, k) = \begin{cases} \frac{n-m}{n} \times \frac{1}{p} \times k, & k=1 \\ \frac{n-m}{n} \times p \times k, & k=2 \end{cases} \quad (2)$$

其中, m 表示交易中搭便车的次数, 即交易过程中只下载不上传的次数; n 表示交易总次数。当节点的策略行为一定, 即 $\frac{n-m}{n}$ 一定时, 有以下两种情况。

(1) 不同类型节点时, 分为两种情况。

- 当 $k=1$ 时, k 一定, p 值越小, $H_i(p, k)$ 值越大, 即 $H_i(4, 1) < H_i(3, 1) < H_i(2, 1) < H_i(1, 1)$ 。
- 当 $k=2$ 时, k 一定, p 值越大, $H_i(p, k)$ 值越大, 即 $H_i(1, 2) < H_i(2, 2) < H_i(3, 2) < H_i(4, 2)$ 。

(2) 同类型节点时, 有:

$$\begin{aligned} & \frac{n-m}{n} \times \frac{1}{p} \times k_1 - \frac{n-m}{n} \times p \times k_2 \\ &= \frac{n-m}{n} \times \left(\frac{1}{p} \times k_1 - p \times k_2 \right) \\ &= \frac{n-m}{n} \times \frac{k_1 - p^2 k_2}{p} \\ &\because k_1, k_2 \in k, k \in [1, 2], p \in [1, 2, 3, 4] \\ &\therefore k_1 - p^2 k_2 < 0 \\ &\therefore \frac{n-m}{n} \times \frac{1}{p} \times k_1 < \frac{n-m}{n} \times p \times k_2 \\ &\therefore H_i(p, 1) < H_i(p, 2) \end{aligned}$$

因此, 同类节点的奖罚机制属于“罚大于奖”, 同一节点在采取搭便车策略时受到的惩罚要大于采取贡献策略获得的奖励, 呈现“升慢降快”的过程。

节点的贡献值直接影响节点享受网络资源能力, 受欢迎度较高的文件下载需要更高的贡献度, 而且采用分等级的奖罚机制, 搭便车节点在采取搭便车策略时受到的惩罚也更大, 一定程度上可以抑制节点的搭便车行为, 减少网络中的搭便车节点, 使网络环境更优化。

4.2 节点交易信任度计算

无线 mesh 网络中节点的交易信任度计算是一个迭代的过程, 根据节点的记录日志计算节点的直接、间接信任, 然后通过历史交易获取节点的交易信誉度, 最后综合考虑节点 $peer$ 是否值得信任。下面首先对节点的交易信任度进行定义。

定义 2 假设节点 $peer$ 与访问节点 i 之间的信任度

为 R_{ij} , 访问节点 $peer$ 之间的信任度为 R_{ij} , 则与 $peer$ 之间的局部信任度 R 为:

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1n} & R_{1p} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2n} & R_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{n1} & R_{n2} & \dots & R_{nn} & R_{np} \\ R_{p1} & R_{p2} & \dots & R_{pn} & R_{pp} \end{bmatrix} \quad (3)$$

通过式(3)获取节点的直接信任度 R_{direct} 和间接信任度 $R_{indirect}$, 本文采用加权平均法^[9]计算节点 $peer$ 的信任值 Tr , 计算式如下:

$$Tr = \beta \cdot R_{direct} + (1 - \beta) \cdot R_{indirect} \quad (4)$$

根据 EigenTrust 算法^[9], 描述节点的信任函数为:

$$t_i(t+1) = \begin{cases} (1 - \chi) \cdot t_i(t) + \chi \cdot Tr(t+1), & t > 0 \\ 1, & t = 0 \end{cases} \quad (5)$$

其中 χ 是一个 0~1 之间的常数系数, 表示节点 i 依赖本次交易信任的程度, 当 $\chi=1$ 时表示节点的信任值只跟本次计算有关, 与以往的交易情况无关。

参考文献[13]采用贝叶斯算法 $C_i = (m+1)/(m+n+1)$ 计算节点的交易信誉值, 本文对此进行改进, 在考虑节点的历史交易情况的同时, 加入了节点 i 在 t 和 $t+1$ 时刻的行为信任值, 计算式如下:

$$C_i(t) = \begin{cases} e^{-\left(\varepsilon \times \frac{n-m}{n+1} + (1-\varepsilon) \times \gamma(t)\right)}, & n > 0 \\ 1, & n = 0 \end{cases} \quad (6)$$

首次交易时, 节点 i 的信誉值为 1, 有利于新节点的加入; 随着时间的推移, 节点采取搭便车的次数越多, 信誉值就越小; $\gamma(t)$ 表示节点 $t-1$ 时刻和 t 时刻行为获取的信任度系数, S_{FR} 表示采取搭便车策略, S_C 表示采取贡献策略, 本文中设定见表 2。

表 2 节点前后两次交易行为的信任度系数 $\gamma(t)$

$t-1 \backslash t$	S_{FR}	S_C
S_{FR}	$(-H(p, 2), -H(p, 2))$	$(-H(p, 2), H(p, 1))$
S_C	$(H(p, 1), -H(p, 2))$	$(H(p, 1), H(p, 1))$

定义 3 节点 $peer$ 的交易信任度计算式如下:

$$trust_i(t+1) = \psi \cdot trust_i(t) + (1 - \psi) \cdot (\delta_1 \cdot C_i(t) + \delta_2 \cdot t_i(t+1)) \quad (7)$$

其中, ψ 是一个常数系数, 表示节点 $peer$ 的交易信任值对上一次交易的依赖度。 δ 是一个常数系数, 等同于近期交易与历史交易的偏重权值。节点的交易信任度越高, 表示该节点任性度越高, 搭便车的程度越低。通过计算节点

的交易信任度选择合适的交易对象, 交互过程中更能展现交易的友好性。

4.3 贡献度计算

参考文献[17]显示我国 1/3 的节点的生命周期基本低于一天。在此基础进行假设: 当节点的在线时长超过 1 天时, 认为该节点搭便车的几率较小, 由在线时长 $online$ 带来的收益较高, 那么节点的在线时长收益值计算式为:

$$U_{online}(i, t) = \begin{cases} e^{-\frac{24}{online_{i,t}}}, & online < 24 \text{ h} \\ 1, & online \geq 24 \text{ h} \end{cases} \quad (8)$$

当节点的在线时长小于 24 h 时, 收益值取值范围为 (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, 在线时长收益趋向于 1。当节点的在线时长超过 24 h 时, 则认为该节点采取搭便车策略的几率较小, 设置固定值为 1。

参考文献[16]通过节点 i 的上传/下载的文件大小、次数等因素设定其收入值函数, 尤其是限制下载速度来抑制网络中的搭便车节点行为。本文在此基础上对此进行改进, 设定了分等级的奖罚机制, 对不同类型的节点实行不同程度的奖罚力度。

定义 4 t 时刻, 节点 i 通过文件的上传和下载参与网络中资源的共享, 获取的文件上传下载收益 $U_{file}(i, t)$ 为:

$$\begin{cases} U_{file}(i, t) = H_i(p, 1) \times U_{up}(i, t) - H_i(p, 2) \times U_{down}(i, t) \\ U_{up}(i, t) = \sum_{f_j \in \text{file_up}(i, t)} popular(f_j) \times size(f_j) \times \\ \quad count_up(f_j) \times speed_up(i, t) \\ U_{down}(i, t) = \sum_{f_j \in \text{file_down}(i, t)} popular(f_j) \times size(f_j) \times \\ \quad count_down(f_j) \times speed_down(i, t) \end{cases} \quad (9)$$

其中, U_{up} 和 U_{down} 分别表示节点的上传和下载收益函数; $popular(f_j)$ 表示文件 f_j 的受欢迎度, 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; $H_i(p, 1)$, $H_i(p, 2)$ 分别表示节点类型为 p 的节点在上传和下载时对应的奖罚度; $size$ 表示文件的大小; $count$ 表示文件被上传/下载的次数, 其中 $count_down(f_j)=1$, 表示文件一旦下载即保存, 只需一次下载即可; $speed$ 表示节点 i 的上传/下载速度, 初设定为: 该节点在该时刻的最大下载速度/节点类型, 该设定可以用于限制网络中的搭便车行为, 当节点下载速度慢时则需要耗费更长的下载时间, 从而延长其在线时长。

根据节点的在线时长收益、上传收益与下载收益可以



判定节点类型 p 。

定义 5 节点 i 在 t 时刻的效用函数如下:

$$U(i, t) = \frac{\alpha \cdot U(i, t-1) + \text{trust}(i, t) + U_{\text{file}}(i, t) + U_{\text{online}}(i, t)}{\sigma \cdot \min\{Rtt(i, t), 5\}} \quad (10)$$

其中, 常数 α 表示对前一次效用计算的依赖度; Rtt 表示节点 i 在 t 时刻的时延。

定义 6 网络接入方式具有异构性, 为了更具公平性, 加入节点 i 在 t 时刻的带宽 $BW(i, t)$, 此时节点 i 的贡献度函数为:

$$\text{attribute}P(i, t) = \frac{U(i, t)}{BW(i, t)} \quad (11)$$

节点的效用函数值与其物理配置值成比值关系, 那些尽全力贡献却因物理配置低导致不公平现象得到了合理的处理, 同时也一定程度上克制了利用自身优势“低贡献高收入”的行为。

5 仿真实验

5.1 仿真环境

本文通过对源节点进行周期监测, 根据其负载能力最大程度地满足节点的需求, 本实验的网络环境为: 节点总数为 200 个, 设置 $M_{\text{high}}=0.7$ 、 $M_{\text{low}}=0.4$ 。此外仿真实验开始时, 设定网络中 4 类节点的数量比为: 超级节点: 热心节点: 普通节点: 搭便车节点 = 0.5:2.5:3:4。

根据上述假设, 4 类节点信息见表 3。

表 3 4 类节点信息

类型值	节点类型	贡献值范围
$p=1$	超级节点	0.95~1
$p=2$	热心节点	0.7~0.95
$p=3$	普通节点	0.4~0.7
$p=4$	搭便车节点	0~0.4

5.2 拥塞系数 ω

本实验通过仿真验证不同拥塞系数 ω 时的负载比率、未满足节点数量比率和获得下载权限的节点数量比率。仿真期间, 节点的数量与节点的选择具有随机性, 为了显现实验结果的可比性, 不同拥塞系数对应每个周期的下载请求节点一致, 监测周期为 12 h, 每个采样周期为 0.5 h, 每次有 n 个节点进行访问, 获取节点的负载值, 并记录每个周期内获得下载权限的节点数以及未获取下载权限的节点数量, 针对不同的 ω 时, 每个周期下载请求节点具有一致性。仿真结果如图 1 和图 2 所示。

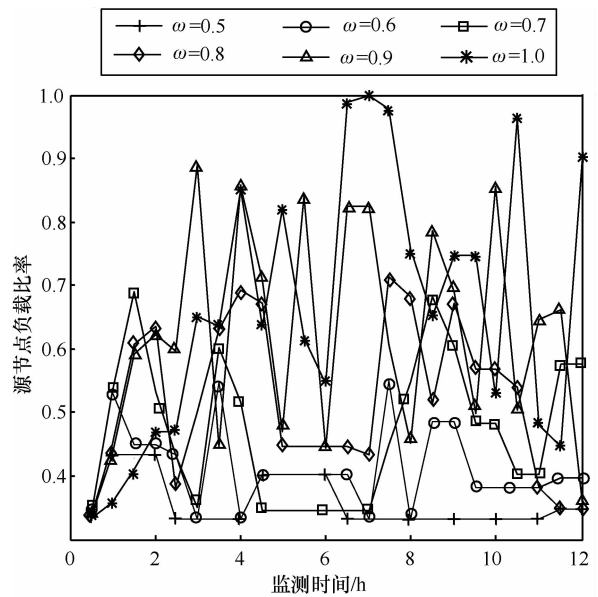
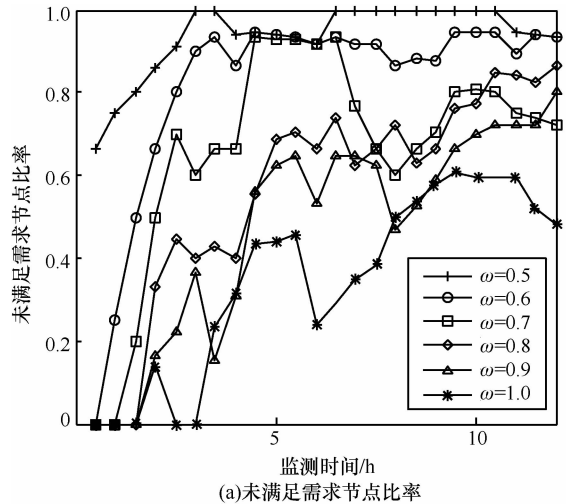
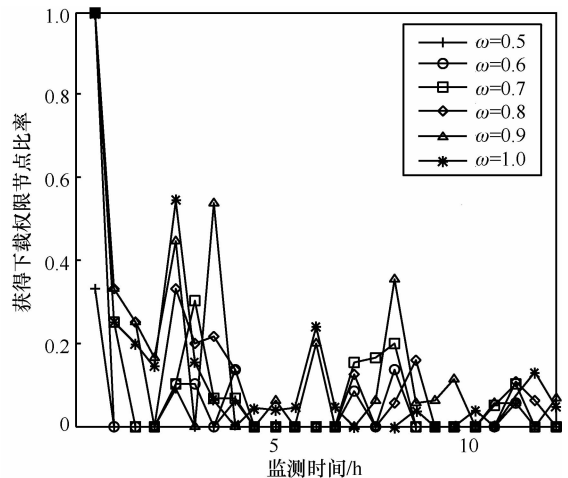


图 1 源节点在不同拥塞系数的负载比率



(a) 未满足需求节点比率



(b) 获得下载权限节点比率

图 2 源节点在不同拥塞系数的节点数量比率

从图1和图2中可以看出:

- 拥塞系数 ω 越大,源节点的负载比率相对越大,未满足需求的节点数比率相对较小,例如 $\omega=0.5$ 时,源节点的负载比率较低,几乎没有节点可以获得其资源的下载权限,不能很好地满足节点的下载需求;
- 当 $\omega=0.9$ 、 $\omega=1$ 时,源节点的负载比率较高,未满足节点的数量比率较低,充分展现了资源的共享;
- 从图1中的 $\omega=1$ 可以看出,源节点的负载比率有好几次接近1,即将近100%地贡献其带宽,对源节点自身而言这种情况不现实,也容易造成自身拥塞,因而本文中对于 ω 的初设定为0.9,即充分利用源节点的资源又保障其负载不过载。

5.3 源节点各信息比率

通过选定一个热心节点作为源节点,对其采用以拥塞判定为前提的搭便车抑制策略,周期监测结果显示如图3所示。

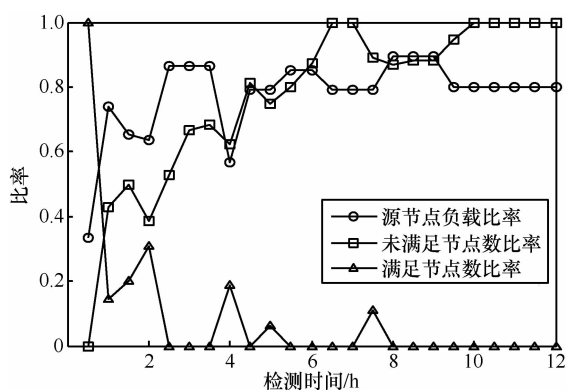


图3 源节点各信息比率

从图3中可以看出:

- 仿真开始时,源节点以最大程度地满足所有节点的信息请求(满足节点数比率=1,未满足节点数比率=0);
- 随着时间的进行,由于节点一直处于负载饱和状态,后期的源节点比率接近设定的最大限($\omega \cdot WL_{max_i}$),满足节点数比率接近于0,未满足节点数比率接近于1,在资源未得到释放前不能再满足更多的节点;
- 当源节点资源释放时,如图中7.5h时,有空余资源以最大程度给予下载,满足其余节点的需求;
- 此外,图中源节点的负载比率从未超过1甚至0.9,保障了源节点的带宽,避免了因请求多超出其负载

能力而造成拥塞甚至宕机的潜在风险,维护了网络的良好环境。

5.4 下载列表中节点类型数量统计

本次仿真实验中对源节点下载列表中不同类型的节点数量进行研究,通过周期监测记录源节点下载列表的节点信息,然后对下载列表中的全部节点、正在下载的节点以及本次监测中刚获得下载权限的节点进行数量统计,结果见表4。

由表4可知:

- 第一次监测时,节点的资源充足,满足了所有节点的需求(总类型:0-0-0-1、本次新下载节点:0-0-0-1);
- 第二次监测时,由于新加入了0-2-0-1个节点,源节点又满足了所有节点的请求;
- 第3次监测时,有0-0-3-0个节点请求,此时由于源节点负载饱和,不对它们的请求做出回应,预防了源节点的过载情况;
- 第11次监测时节点仍然处于饱和状态,而在第12次监测时有节点下载完成释放了源节点的资源空间,因而在第12次时又对节点的请求给予了回应。

通过对以上结果进行分析发现:源节点在未能满足所有节点的请求时,总是优先满足 p 值低的节点(p 值表示节点类型, p 值越低其贡献值高),从而在避免造成网络拥塞的同时,也在一定程度上抑制了贡献值较低的搭便车节点的行为。

5.5 搭便车策略比较

为了验证基于网络拥塞判定的搭便车抑制机制(overcoming free riding mechanism based on network congestion decision, OFRNC)的性能,本文将该策略与随机下载(random download, RD)、先到先下载(first come first download, FCFD)策略进行比较。下面对3种策略在遇到同一批下载节点 $N=\{1,2,\dots,c\}$ 请求时,源节点的负载比率进行比较,首先对另外两种策略未采用拥塞判定,然后对其加入拥塞判定,结果如图4所示。

图4(a)显示第8次监测时源节点的负载比率为1,即当未采用拥塞判定时,源节点易造成因为自身能力不能满足全部节点的需求而超载,严重的可能造成节点因行为受阻不畅通而宕机,而源节点为超级节点,该节点的离开将对网络造成极大的损失。图4(b)中的3种策略都采用拥塞判定为前提,从图中可以看出,采用OFRNC策略的源节点比率相对较稳定,而且负载比率较高,源节点在不造成



表 4 下载列表中不同类型节点数量统计

监测次数	总类型				正在下载节点类型				本次新下载节点类型			
	$p=1$	$p=2$	$p=3$	$p=4$	$p=1$	$p=2$	$p=3$	$p=4$	$p=1$	$p=2$	$p=3$	$p=4$
1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	1
3	0	2	3	2	0	2	0	2	0	0	0	0
4	0	2	4	2	0	2	0	2	0	0	0	0
5	0	1	7	3	0	1	1	2	0	1	1	0
6	0	0	7	4	0	0	4	1	0	0	3	0
7	0	0	6	4	0	0	6	1	0	0	4	1
8	1	0	3	5	1	0	3	1	1	0	0	0
9	1	1	2	5	1	1	2	0	0	1	0	0
10	1	2	1	6	1	2	1	0	0	1	0	0
11	1	2	0	5	1	2	0	0	0	0	0	0
12	0	1	2	6	0	1	2	0	0	0	2	0

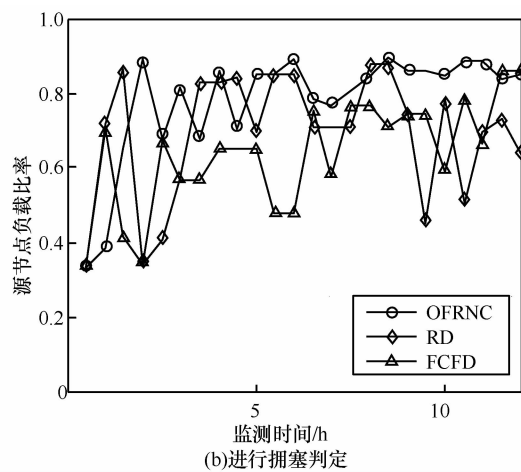
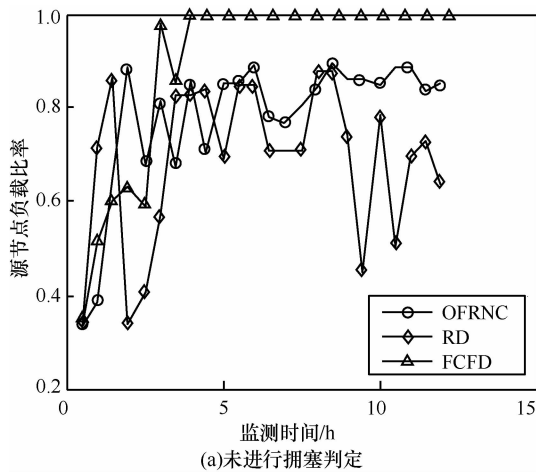


图 4 采用不同策略时源节点的负载比率

过载的同时,尽自身最大程度地为网络做贡献。

下面对 3 种策略都采用拥塞判定为前提,对每个周期内未开始下载和该周期内获得下载权限的不同类型节点数量进行统计,见表 5。

从表 5 中可以看出:

- 采用 RD 与 FCFD 策略时随机获得下载权限的节点类型,容易让搭便车节点钻空隙,即使在资源有限时还可以获得下载权限,助长了网络中节点的搭便车行为;
- OFRNC 策略按照节点类型分配优先权,即超级节点>热心节点>普通节点>搭便车节点,优先满足贡献值高的节点,当资源有限时,搭便车节点的行为

受到了抑制,同时如果该类节点在资源有限时想获得下载权限,必须通过为网络做贡献提高自身的贡献值,既维护了网络的畅通,又引导节点积极为网络做贡献,保障了网络的良好环境。

6 结束语

本文提出了无线 mesh 网络中对搭便车节点行为的抑制策略,通过判定节点是否会造成拥塞,优先满足贡献值高的节点,从而抑制搭便车节点只能在资源空闲时才能获得下载权限。通过对节点进行周期检测,结果显示超载的风险率明显减小;此外,将该策略与 RD 与 FCFD 策略进行比较,实验结果显示 OFRNC 策略在资源不足时大幅度

表5 3种策略中节点类型统计

周期	OFRNC		RD		FCFD	
	未开始下载	获得下载权限	未开始下载	获得下载权限	未开始下载	获得下载权限
1	1:0:0:1	1:0:0:1	1:0:0:1	1:0:0:1	1:0:0:1	1:0:0:1
2	1:2:0:2	1:1:0:0	1:2:0:2	0:0:0:0	1:2:0:2	0:0:0:1
3	0:1:2:2	0:1:0:0	1:2:2:2	0:1:2:2	1:2:2:1	1:1:0:0
4	0:1:4:4	0:1:2:0	1:2:2:2	0:0:0:0	0:2:4:3	0:1:0:1
5	0:0:3:5	0:0:2:0	1:2:3:3	0:0:1:1	0:1:5:3	0:0:2:0
6	0:1:3:7	0:1:1:0	1:3:4:4	0:0:0:2	0:2:5:5	0:1:0:0
7	0:0:2:7	0:0:2:2	0:2:4:4	0:0:0:1	0:1:5:7	0:0:0:0
8	0:1:0:5	0:0:0:0	0:3:4:3	0:1:2:1	0:2:5:7	0:0:3:3
9	0:1:2:4	0:1:0:0	0:2:4:1	0:0:3:1	0:2:4:4	0:0:1:0
10	0:0:3:6	0:0:0:0	0:2:1:3	0:0:1:2	0:2:4:7	0:1:0:1
11	0:1:5:5	0:1:4:0	0:2:2:1	0:1:0:0	0:2:5:5	0:0:0:2
12	0:1:2:3	0:0:0:0	0:2:3:1	0:0:0:0	0:3:6:3	0:1:0:0

减少了获得下载权限的搭便车节点数量,一定程度上抑制了网络中节点的搭便车行为。终端设备的内存、容量、主频等配置直接影响节点的贡献能力,本文对此并未进行深入扩展。此外,本文采用 MATLAB 软件进行仿真,实验结果数据不免与实际情况有出入。今后将对这两点进行更深入的研究,提出更合理、实践性更强的搭便车应对策略。

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 Salta N, Morla R, Ricardo M. Improving P2P video streaming in wireless mesh networks. Proceedings of 2010 the 9th IFIP Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc-Net), Juan Les Pins, France, June 2010:23~25
- 3 艾瑞咨询. 2014 年 1 月网络视频收视数据发布. <http://news.iresearch.cn/zt/228461.shtml#>, 2014-03-28
- 4 ComScore. 2014 年 1 月美国在线视频网站排名. <http://www.199it.com/archives/197664.html>, 2014-03-26
- 5 CNNIC. 第 33 次中国互联网络发展状况统计报告. 北京: 中国互联网络信息中心, 2014
- 6 Adar E, Huberman B A. Free riding on Gnutella. First Monday, 2000, 5(10):32~35
- 7 余一娇, 金海. 对等网络中的搭便车行为分析与抑制机制综述. 计算机学报, 2008(1):1~15
- 8 Hughes D, Coulson G, Walkerdine J. Free riding on Gnutella revisited: the bell tolls? IEEE Distributed Systems Online, 2005, 6(6):1~18
- 9 搭便车. <http://baike.baidu.com/view/574903.htm>, 2012
- 10 Anceaume E, Gradinariu M, Ravoajia A. Incentive for P2P fair resource sharing. Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing, Konstanz, Germany, 2005: 253~260
- 11 陈才. 针对节点自私性的对等网络激励机制技术研究. 北京邮电大学博士学位论文, 2010
- 12 田春岐, 江建慧, 胡治国等. 一种基于聚集超级节点的 P2P 网络信任模型. 计算机学报, 2010(2):345~355
- 13 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
- 14 Ramaswamy L, Liu L. Free riding: a new challenge to peer-to-peer file sharing systems. Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences, Hawaii, USA, 2003:220~229
- 15 Ma R T B, Lee C M, Lui J C S, *et al.* Incentive P2P network: a protocol to encourage information sharing and contribution. ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review, 2003, 31(2): 23~25
- 16 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(7):36~39
- 17 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
- 18 Moon J, Cho Y. A point-based incentive system to prevent free-riding on P2P network environments. Proceedings of ICCSA, Santander, Spain, 2011:462~471
- 19 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
- 20 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(1):61~68



- 21 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
- 22 Wang B, Soltani S, Shaprio J K, *et al.* Distributed detection of selfish routing in wireless mesh networks. Technical Report-MSU-CSE-06-19, Department of Computer Science and Engineering, Michigan State University, 2008
- 23 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, CA, USA, 2008
- 24 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
- 25 Mol J J D, Pouwelse J A, Meulpolder M, *et al.* Give-to-get: free-riding resilient video-on-demand in P2P systems. Proceedings of International Society for Optics and Photonics, San Diego, California, USA, 2008



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。

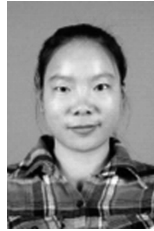


刘建生,男,江西理工大学副教授,主要研究方向为信息安全、人工智能与数据分析。

[作者简介]



乐光学,男,博士,嘉兴学院教授,主要研究方向为计算机网络与网络安全、嵌入式系统。



李明明,女,江西理工大学硕士生,主要研究方向为计算机网络。

(收稿日期:2014-01-28)

·简讯·

2014年3月通信业主要指标完成情况(二)

指标名称	单位	本月末到达	比上年末净增	本月净增
固定电话用户合计	万户	26 370.4	-328.1	-117.4
公用电话用户	万部	2 188.9	-44.5	-9.0
城市电话用户	万户	18 322.1	-134.7	-40.2
住宅电话用户	万户	10 357.9	-116.4	-46.7
农村电话用户	万户	8 048.2	-193.5	-77.3
住宅电话用户	万户	6 426.9	-216.6	-65.4
移动电话用户合计	万户	124 842.5	1 931.2	864.8
其中:3G用户	万户	44 501.8	4 340.7	1 523.2
互联网拨号用户	万户	461.4	-23.7	-1.4
互联网宽带接入用户	万户	19 409.0	518.1	191.8
其中:xDSL用户	万户	10 552.2	-164.3	-84.0
移动互联网用户	万户	85 111.6	4 355.3	1 206.7
固定电话普及率	部/百人	19.4		
移动电话普及率	部/百人	91.7		

(来源:工业和信息化部运行监测协调局)