

## 移动自组网上结构化 P2P 网络 Churn 问题分析

黄毅然<sup>1,2</sup>, 钟 诚<sup>1</sup>, 玉 易<sup>1,3</sup>

(1 广西大学 计算机与电子信息学院, 广西 南宁 530004; 2 华南理工大学 计算机科学与工程学院, 广东 广州 510006;  
3 广西广播电影电视局信息中心, 广西 南宁 530022)

**摘 要:** 分析研究了在三种用户行为的指数分布模型、Pareto 分布模型和 Weibull 分布模型下, Churn 问题对移动自组网上结构化 P2P 网络性能的影响. 仿真实验研究表明, 影响结构化 P2P 网络在移动自组网上工作性能的主要因素是节点会话时长、网络规模和节点密度、网络层路由协议以及节点移动性, 并分析了这些主要因素之间的相互关系.

**关键词:** 结构化 P2P 网络; Churn 问题; 移动自组网; 指数分布模型; Pareto 分布模型; Weibull 分布模型

**中图分类号:** TP393

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7180(2012)09-0079-04

## Evaluation of Churn Problem for Structure P2P Network over Mobile Ad-hoc Networks

HUANG Yi-ran<sup>1,2</sup>, ZHONG Cheng<sup>1</sup>, YU Yi<sup>1,3</sup>

(1 School of Computer and Electronics and Information, Guangxi University, Nanning 530004, China;

2 School of Computer Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China;

3 Guangxi Radio and Films and Television Bureau, Nanning 530022, China)

**Abstract:** This paper analyzes the influence of three user behavioral model of Churn (Exponential Distribution model, Pareto Distribution model, and Weibull Distribution model) to structure peer-to-peer network over mobile ad hoc networks. The experiments shows that the main factors which affect the Churn problems of structure peer-to-peer networks over MANETs are: Node session time, network size, network layer routing protocol and node mobilize, and analyzes the relationship between these factors.

**Key words:** structure peer-to-peer network; Churn model; mobile ad-hoc networks; exponential distribution; Pareto distribution; Weibull distribution

### 1 引言

在 P2P 网络中, 节点频繁的移动、加入和离开网络将会导致路由表中的信息以及存储资源的信息不一致, 从而导致 P2P 网络网络拓扑随时间变化剧烈的现象, 这种现象称为 Churn 问题. 在移动网络里, 由于移动节点本身频繁的上下线、节点的运动以及移动设备本身电池容量的限制, 使得相对于固网上的 P2P 网络, 研究 Churn 问题对架构在移动自组网上的 P2P 网络系统的影响因素及其之间的相关

性, 显得更重要.

文献[1]给出了基于 P2P 网络的 AVL 索引树范围查询研究. 通过对 BitTorrent 的分析, Guo 等人得出节点会话时间和下线时间服从指数分布的结论<sup>[2]</sup>. 指数分布模型作为基本的假设前提, 还被应用于研究 Chord 问题<sup>[3]</sup>. Stutzbach 分析了三种真实 P2P 系统的 Churn 问题, 得到的结论是会话时长是 Weibull 分布<sup>[4]</sup>. 以 Kademlia 为基础, 文献[5]分析了 P2P 协议覆盖层网络在不同程度 Churn 下直接影响 P2P 协议性能的因素, 并由此得出的结论是查

收稿日期: 2012-02-04; 修回日期: 2012-03-13

基金项目: 广西自然科学基金(0575014); 广西大学科研基金(XJZ100240)

询并行度为 3 时, P2P 协议基本可以保证比较高的资源搜索成功率. 文献[6]分析了 Kademia 系统在节点会话和离线时长分别服从指数分布、Pareto 分布和 Weibull 分布时 Churn 的表现, 但是并没有讨论移动环境下 P2P 网络协议的性能, 也没有进一步分析哪些因素对 Churn 产生怎样的影响. 文献[7]讨论了 Chord 在 MANETs 上的性能, 分析了在移动自组网上部署结构化 P2P 网络可能出现的问题以及原因, 但是并没有进一步讨论 Churn 现象对移动自组网上结构化 P2P 网络的影响, 以及影响因素之间的关系. 本文讨论了在指数分布模型、Pareto 分布模型和 Weibull 分布模型下, Chord 问题对移动自组网上结构化 P2P 网络性能的影响因素, 并分析影响因素之间的关系, 以指导设计和实现高性能的移动自组网上结构化 P2P 网络算法.

## 2 性能评估模型与 Chord 查询协议

本文研究评估在 MANETs 上部署标准结构化 P2P 网络协议的关键要素. 我们选择 Chord 为分析对象, 在 MANET 仿真器 Glomosim<sup>[8]</sup> 上评估 Churn 问题对移动自组网上结构化 P2P 网络性能的影响.

### 2.1 Churn 模型

Churn 模型是指 P2P 网络中出现 Churn 问题时, 节点会话时长所服从的概率分布或者规律; 其中会话时长是指节点一次加入至离开 P2P 网络所经历的时间段(如图 1 所示). 它是衡量 Churn 问题的主要时间度量指标, 也是评估和分析 Churn 模型的基本依据. 当用户的会话时长服从某一概率分布时, 就称该分布为相应 Churn 问题所对应的 Churn 模型.

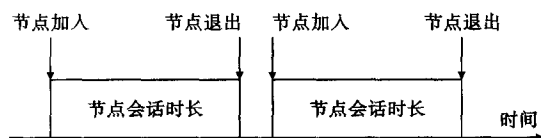


图 1 节点会计时长

泊松分布被广泛应用在离散事件概率分析中, 指数分布(ED)、Pareto 分布(PD)和 Weibull 分布(WD)被广泛应用在 P2P 网络用户行为模型的分析中, 因此, 在本文的算法性能评估和分析里, 我们用这三种分布作为节点会话时长的 Churn 模型. 节点会话时长对 P2P 网络 Churn 现象产生直接影响, 节点离开网络时的行为, 也是影响 P2P 网络算法在 Churn 下工作的一个重要因素; 当节点离开网络时

有两种情况, 一种情况是通知邻居节点以后退出, 也称为正常退出(Grateful Leave); 另一种情况是非正常退出(Ungrateful Leave), 即不通知任何节点, 直接离开. 为了考察节点在不同情况下离开网络对协议的影响, 对节点正常退出和非正常退出的离散事件, 设定这些事件服从泊松分布.

在本文研究的 Churn 模型中, 节点的平均会话时长, 分别服从 Pareto 分布、指数分布和 Weibull 分布, 节点正常和非正常退出网络服从泊松分布.

下面是 Churn 问题的相关数学模型.

#### ① Pareto 分布:

$$F_{\text{pareto}}(x) = \begin{cases} 1 - \left(\frac{\beta}{x}\right)^{\alpha} & x \geq \beta \\ 0 & x < \beta \end{cases} \quad (1)$$

对 Pareto 分布来说, 式(1)是 Pareto 分布的概率分布函数, 其中的  $\alpha, \beta$  是影响 Pareto 分布的主要参数, Pareto 分布也是重尾分布的一种,  $\alpha$  值代表了“重尾”的程度, 其数学期望为

$$E_{\text{Pareto}}(x) = \frac{\alpha\beta}{\alpha-1} \quad (2)$$

#### ② 指数分布:

$$F_{\text{exponential}}(x) = \begin{cases} 1 - e^{-(x/\lambda)} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

对指数分布来说, 式(2)是指数分布的概率分布函数, 其中的  $\lambda$  是影响指数分布的一个主要参数, 一般情况下它等于该分布的数学期望:

$$E_{\text{exponential}}(x) = \lambda \quad (4)$$

#### ③ Weibull 分布:

$$F_{\text{weibull}}(x) = \begin{cases} 1 - e^{-(x/\lambda)^k} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (5)$$

对 Weibull 分布, 式(3)是 Weibull 分布的概率分布函数, 其中当  $k=1$  是它就是指数分布, 当  $k=2$  时, 就是拖尾 Rayleigh 分布, 其数学期望为

$$E_{\text{Weibull}} = \lambda \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \quad (6)$$

其中  $\Gamma$  是伽马函数.

#### ④ 泊松分布:

$$F_{\text{Poisson}} = \begin{cases} \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (7)$$

对泊松分布, 式(7)是泊松分布的概率分布函数, 其数学期望为

$$E_{\text{Poisson}} = \lambda \quad (8)$$

参数  $\lambda$  是单位时间内节点正常和非正常退出覆盖层网络的平均发生率.

## 2.2 Chord 查询协议

Chord 采用远程过程调用(RPC). 协议运行在应用层上,并用 UDP 发送控制消息. 信息传输的可靠性通过计时和重传保证. 对 Chord 来说,给定一个关键字,Chord 将该关键字映射到一个节点,该节点可能是负责存储与该关键字相关的值. Chord 采用相容散列方法把关键字分配给环形结构的 Chord 节点. 相容散列是负载平衡的,因为每个节点接收大体相当的关键字,这就使得在节点加入和退出系统过程里,关键字的转移可以尽可能少. 每个 Chord 节点只需要一部分其他节点的路由信息. 因为路由表是分布式的,一个 Chord 节点和其他节点通信是为了完成一次查询,在稳定状态下,一个  $N$  个节点的系统,每个节点维护最多  $O(\log N)$  个其他节点信息,并通过  $O(\log N)$  个消息解析所有其他节点的查询;Chord 通过环形相容散列方法组织和路由查询消息,使得即使 P2P 网络中节点频繁加入退出仍能在较小的维护代价下正常运行.

## 3 仿真实验与分析

Glomosim 没有提供 P2P 协议,因此我们按照文献[4]的要求,在应用层上开发了 Chord,其中 Chord 的模拟参数设为: finger 表每隔 15 秒更新一次, stabilize 每隔 30 秒执行一次.

主要评估的对象是 Chord,但是为了对覆盖层和网络层之间的相互关系进行研究,我们还在 MANETs 的源路由协议 DSR 和距离向量路由协议 AODV 这两种不同类型的典型的网络层路由协议上分别进行了研究.

网络中所有节点都采用有 RTS/CTS 扩展的 IEEE802.11 协议,传输速率是 2 Mbps 的天线,天线的传输范围是 250 米,所有节点在 1000 米 $\times$ 1000 米的范围内以 random waypoint 模型运动,以 UDP 作为传输层协议.

各个节点的平均会话时长服从指数分布、Pareto 分布和 WeiBull 分布. 平均会话时长时间段设置为 {100s, 200s, 400s, 600s, 800s, 1000s, 1200s, 1600s}, 每个节点都有 30s 的时间加入覆盖层网络,节点在仿真开始 100s 后开始退出和加入网络. 按照这个会话时长设置,各个分布中对应的参数设置为, Pareto 分布的概率分布函数中,  $\alpha$  为 1,  $\beta$  为 1, 指数分布的概率分布函数中,  $\lambda$  为 4, WeiBull 分布的概率分布函数中,  $\lambda$  为 8,  $k$  是 0.5. 为了观察 Churn 问题对不同覆盖层节点密度对结构化 P2P 网络算法

性能的影响,对网络规模的变化,我们设定覆盖层网络节点数维持在 50 个,底层的物理层网络节点数从 50 个变化到 200 个.

评估不同参数在不同 Churn 模型下 Chord 的表现,以此来研究 Churn 问题对移动自组网上的 P2P 网络影响的主要因素. 主要性能指标有:

(1) 搜索成功率:在覆盖层网络里成功发现资源数据的比例.

(2) 网络消息数:应用层网络中节点发送和接收的所有消息数.

### 3.1 网络规模变化时的网络性能

图 2 和图 3 显示了网络层路由协议为 AODV 和 DSR,不同网络节点的情况下,Chord 的节点平均会话时长服从 Pareto 分布、WeiBull 分布和指数分布时所得到的搜索成功率和网络负载表现. 从图 2 和图 3 中可以看到,随着网络中节点数的逐步增加,指数分布对应的搜索成功率逐步下降, Pareto 分布下 Chord 的搜索成功率稳步上升, WeiBull 分布下 Chord 的搜索成功率则在一定的范围内波动;同时在网络负载方面,指数分布的对应的网络消息数呈现下降趋势, Pareto 分布对应的网络消息数则保持稳定, WeiBull 分布对应的网络消息数变化和他的搜索成功率一样,在一定范围内波动. 因此,通过物理层网络节点数的变化,可以得出结论:从网络规模的角度看,底层网络路由协议对系统的影响是有限的,性能只和具体的 P2P 网络路由协议直接相关,当节点密度下降时, P2P 网络系统性能下降较为显著.

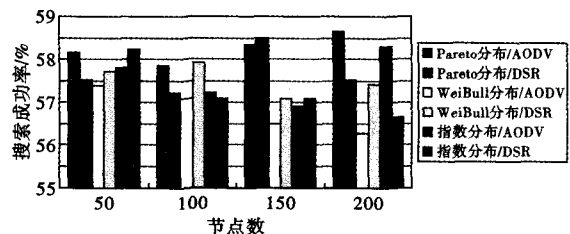


图2 Chord 在各种分布和路由协议下随节点数变化的搜索成功率

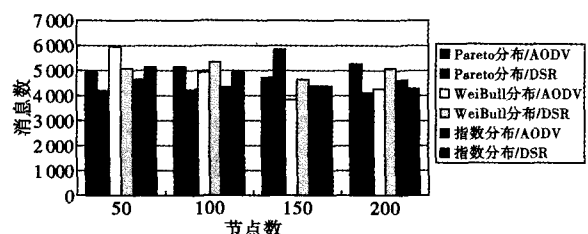


图3 Chord 在各种分布和路由协议下随节点数变化的网络负载

### 3.2 节点移动速度变化时的网络性能

图 4 和图 5 显示了在不同的路由协议,不同节点移动速度和不同的节点会话时长分布情况下,P2P 网络的搜索成功率和网络负载的变化情况;从图 4 和图 5 中可以看到的是,随着节点移动性的变化,对以 AODV 为网络层路由协议的各个分布,其中 Chord 在 Pareto 分布的下搜索成功率和网络负载变化均比较稳定,WeiBull 分布的搜索成功率和网络负载则均出现了两边高,中间低的情况,而指数分布的下 Chord 的网络负载相对稳定,搜索成功率出现中间高两边低的情况;相对来说,以 DSR 为网络层路由协议的各个分布,其对应的 Chord 的搜索成功率和网络负载情况都呈现出类似的变化过程.因此,可以得到结论:Chord 在网络拓扑变化较为频繁的状态下,仍能保持较为稳定的表现,这得益于 Chord 在设计时充分考虑了节点加入和退出对系统的影响.

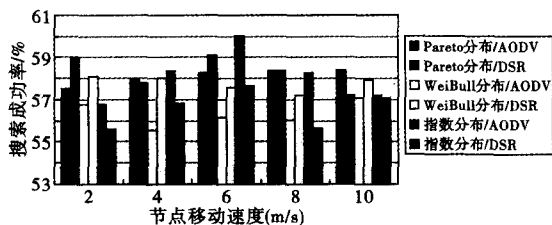


图 4 Chord 在各种分布和路由协议下随节点移动速度变化的搜索成功率

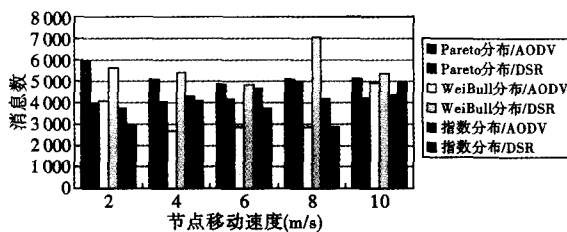


图 5 Chord 在各种分布和路由协议下随节点移动速度变化的网络负载

## 4 结束语

综合网络层路由协议、网络规模和节点密度和移动性,按照影响大小先后顺序排列,本文分析和实验研究得出影响结构化 P2P 网络在 MANETs 上工作性能的主要因素分别是:①节点会话时长;②网络规模和节点密度;③网络层路由协议;④节点移动性.

这些结论可以为今后设计移动自组网上的结构化 P2P 网络覆盖层网络提供参考和借鉴依据.下一步的工作是研究提出 MANETs 上结构化 P2P 网络的 Churn 量化模型;对于非结构化 P2P 网络在移动自组网的性能表现和制约因素也值得研究.

### 参考文献:

- [1] 刘金岭. 基于 P2P 网络的 AVL 索引树范围查询研究[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(2): 11-14.
- [2] Guo L, Chen S, Xiao Z, Tan E, et al. Measurements, analysis, and modeling of bittorrent-like systems[C]// Internet Measurement Conference. USA: Berkeley, 2005.
- [3] Stoica I, Morris R, Liben-Nowell D, et al. Chord: a scalable peer-to-peer lookup protocol for internet applications[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2003, 11(1): 17-32.
- [4] Stutzbach D, Rejaie R. Understanding churn in peer-to-peer networks[C]// Proc. Internet Measurement Conference (IMC). Brazil, 2006.
- [5] Zhonghong Ou, Erkki Harjula, Otso Kassinen, et al. Performance evaluation of a Kademia-based communication-oriented P2P system under churn[J]. Computer Networks, 2010, 54(5): 689-705.
- [6] Zhonghong Ou, Harjula E, Ylianttila M. Effects of different churn models on the performance of structured peer-to-peer networks[C]// Personal, Indoor and Mobile Radio Communications IEEE 20th International Symposium; IEEE Computer Society Press. Canada: Quebec, 2009: 2856-2860.
- [7] Curt Cramer, Thomas Fuhrmann. Performance evaluation of chord in mobile Ad Hoc networks[C]// MobiShare'06, September 25, 2006, Los Angeles, California, USA, ACM Press, 2006: 48-53.
- [8] Bajaj L, Takai M, Ahuja R, et al. GloMoSim: a scalable network simulation environment[R]. Technical Report 990027, UCLA Computer Science Department, 1999.

### 作者简介:

黄毅然 男, (1980—), 博士研究生, 讲师. 研究方向为网络与并行分布计算、计算生物学.

钟 诚 男, (1964—), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为网络与并行分布计算、生物信息学.

玉 易 女, (1985—), 硕士研究生, 助理工程师. 研究方向为网络与并行分布计算.