

基于网络用户行为的网站发展研究*

徐川, 王娟, 赵国锋

(重庆邮电大学 未来网络研究中心, 重庆 400065)

摘要: 基于网站用户群体的行为特征在很大程度上体现了网站的发展状况, 为从用户行为的角度研究网站的发展, 在互联网中提出了空间的概念, 并定义了互联网空间和网站发展空间, 分别用来代表整个互联网以及衡量网站的发展现状和发展趋势。为展示各个网站在互联网空间中的位置分布情况和发展空间大小, 使用网站用户规模、用户满意度和重访率三个参数建立了网站发展空间模型。根据网络用户行为指标的特征, 对应地提出了模型参数的计算方法, 进而通过网站发展空间模型直观地展示各个网站的发展情况和发展趋势。针对移动互联网的快速发展, 在移动互联网中更能体现网站的发展过程, 因此采用来自某大型移动网络的用户点击流数据对网站发展空间模型进行实验, 详细分析并展示真实网站的发展现状, 准确地预测网站的发展趋势, 验证网站发展空间模型的有效性。

关键词: 互联网空间; 网站发展空间; 网络用户行为; 用户满意度; 重访率

中图分类号: TP393.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2014)04-1154-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2014.04.048

Research on website growth based on Web user behaviors

XU Chuan, WANG Juan, ZHAO Guo-feng

(Future Network Research Center, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Based on the behavioral characteristics of user groups in a website largely reflect the development situations of the website, this paper first proposed the concept of space in Internet for investigating the website development from the perspective of user behavior and defined Internet space and website growth space, both of which were used to represent network and measure the growth status and growth trend of websites respectively. For showing the distributions of spatial positions and the size of the growth space of websites in Internet space, it applied user scale, user dependency and user loyalty of a website to build the website development space model for the website. Furthermore, it proposed the computing methods for the three model parameters based on the characteristics of user behavior metrics. In view of the rapid development of mobile Internet, the development process of websites in mobile Internet could be more reflected. So that it conducted experiments on the data sets collected from a large-scale mobile network. Hence, it analysed the growth status of real websites in detail and predict the growth trend of websites accurately, which illustrates the effectiveness of the development space model.

Key words: Internet space; website development space; Web user behavior; users' satisfaction; revisiting rate

0 引言

随着互联网的不断发展、演化, 当今的网站与以前的网站相比, 已有很大的不同。这些不同主要体现在当今的网站具有更多的动态性、业务更加丰富、网络工具更加先进等。网站作为互联网中服务的提供者, 为网络用户的活动提供了平台。同时, 用户在网站中产生的一系列行为特征体现着网站的发展情况, 并可以展示网站的综合竞争实力。因此, 从网络用户的行为特征出发, 可以深入地挖掘网站的发展, 包括描述网站当前的发展现状以及预测网站未来的发展趋势, 进而得到网站在互联网中的综合竞争实力。掌握网站的发展情况以及它们在互联网中的综合竞争实力具有重要意义, 具体表现在: a) 能够帮助网络运营商了解各个网站的发展优劣势, 对各个网站有针对性地进行改进及优化; b) 对网络资源分配、网络设计和管理具

有指导意义; c) 为网站设计者优化网站设计、吸引更多用户, 为广告商掌握用户需求与市场行情以及为运营商维护网络的健康运行给予直接的帮助。

当前已有的互联网研究主要集中在网络用户的行为分析^[1-11], 包括网络用户行为指标的分析与建模、流量特性的分析与建模等。在互联网中, 已有部分研究涉及到了网络的演化和生长。Leskovec 等人^[12]通过分析四个大型的在线社交网络研究了网络的演化, 并建立了一个网络演化模型去产生任意大小的合成网络, 并近似地仿真真实社交网络中的宏观特征。Figueiredo 等人^[13]分析了自从视频上传到 YouTube 的单个视频受欢迎度的演化以及依赖于视频数据集的受欢迎度的生长演化模式。Kairam 等人^[14]通过分析多个在线社交网络对群体在线用户的生长进行了预测。然而, 网站作为网络服务的提供者却研究甚少。网络用户的行为特征研究只能单方面地观测

收稿日期: 2013-06-27; **修回日期:** 2013-07-30 **基金项目:** 国家科技重大专项项目(2012ZX03006001-004); 国家重点基础研究发展计划资助项目(2012CB315806); 重庆市自然科学基金重点基金资助项目(CSTC2012JJB40008); 重庆市自然科学基金资助项目(CSTC2012JJA40060); 重庆邮电大学博士启动基金资助项目(A2012-29)

作者简介: 徐川(1981-), 男, 副教授, 主要研究方向为移动互联网; 王娟(1989-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为移动互联网(wjsimple@sina.cn); 赵国锋(1972-), 男, 教授, 主要研究方向为未来互联网。

用户的活动特征,不能得到网站的相关特性。已有的网络演化与生长研究也未对网站的发展过程进行分析。因此,基于网络用户行为对网站演化过程的体现,本文将从网络用户行为的角度去研究网站的发展。本文主要基于网站的用户群体行为特征去研究网站的发展状况和发展趋势,揭示各个网站在互联网中的综合竞争实力。

1 互联网中空间概念的提出

1.1 互联网空间

互联网是一个大规模的、高度工程化的复杂系统,主要由用户和服务器两个实体构成^[15]。在用户和服务器之间,存在着复杂的交互行为,包括无数的用户请求、服务器响应。正是由于用户与网络之间不停的交互行为,才足以带动整个互联网的运行与发展。互联网是一个抽象的概念,为了将互联网简化,本文将互联网简单地比做一个空间,网络用户和服务器等均为空间内的实体,对其作如下定义。

定义1 互联网空间- I 。互联网是一个具有上亿元素的空间 I ,网站为该空间的子集,网络用户是构成该空间的元素。在互联网中,每个用户可以选择一个或者多个网站提供的服务,则在互联网空间中,其中的一个元素可能属于一个或多个子集,每个子集含有不同的元素个数。

根据互联网空间的定义,互联网空间中各网站之间的关系可以简化为图1所示。在图1中,互联网空间用 I 表示,列举了六个典型的网站来展示互联网空间中各子集的交互关系。这六个网站分别用数字1~6表示。在 I 中,用圆代表网站,且圆的半径大小由网站的用户规模决定,网站的用户规模越大,则表征该网站圆的半径越大,即该圆越大。在这六个网站中,网站1与其他网站没有交集,则该网站的用户群体只使用该网站提供的服务。其他五个网站之间的用户均是相互交叉的,这些交叉用户使用多个网站提供的服务。根据代表网站的圆的半径大小代表网站用户规模,从图1可知,表征网站4的圆最大,说明该网站拥有最多的网络用户数,而表征网站6的圆最小,则网站6拥有最少的用户数。

1.2 网站发展空间

网站作为互联网空间中的子集,每个网站在互联网空间中均占据一个空间位置。为描述网站的发展情况,提出网站发展空间的概念。对其作如下定义。

定义2 网站发展空间-Spa。网站发展空间用来衡量网站在互联网空间中的发展现状,预测网站的发展趋势,并进一步揭示网站的综合竞争实力。在互联网空间中,一个网站拥有好的空间位置,则该网站具有更好的发展现状、发展趋势以及以更强的综合竞争实力。掌握互联网空间中各个网站所处的空间位置,有利于掌握互联网的整体宏观结构以及发展趋势。

网站的发展空间与该网站的网络用户群体行为有着直接的关系。网络用户群体的行为指标也展示网站发展的好坏。a)由于群聚效应,网站的用户数量越大,对新用户的吸引力也会更大,如果网站内容有吸引力,则用户会周期性地访问该网站;b)如果网站的内容更新快,则用户访问该网站的频率会增大,也会增加用户对该网站的浏览时间。网络用户对网站的访问行为直观地体现了网站对用户的吸引程度和用户对该网站的喜爱程度等。因此网络用户的行为可以展示网站的发展状况。

为了对网站的发展空间进行描述,定义以下三个参数。

定义3 网站用户规模- U_s 。它是访问某一网站的独立用户数,即访问被统计网站的不重复用户数。

定义4 网站用户满意度-Sat。它是用户对访问网站结果的满意程度。

定义5 网站用户重访率-Rvis。它是用户对网站的重复使用度。

从网站的综合竞争实力来看,网站的用户规模是最直接的体现指标。网站用户满意度和用户重访率最能体现网站用户粘度的大小。网站用户粘度是描述网站对用户吸引力的一个度量,且与用户的访问频率、访问时长以及访问深度有直接的关联^[16]。因此,无论是网站用户规模,还是网站用户满意程度以及网站的重访率,它们都是决定网站在互联网中是否处于有利竞争位置的重要指标。

2 网站发展空间模型

随着网络用户数量的不断增加,互联网空间将是不断扩大的,因此本文使用一个两条有共同顶点的射线所形成的夹角空间即扇形区域来表示互联网空间的大小,这样互联网空间也可以随着用户的增加而扩展。同时,对于互联网空间中表示网站的圆、网站的用户数增加、圆的大小也是可以通过对半径的增加而扩大的。

本文使用网站用户规模、网站用户满意度和用户重访率三个参数构建网站在互联网空间中的空间位置,建立网站发展空间模型。网站发展空间模型的架构如图2所示。在图2中,整个大的扇形区域表示互联网空间,圆代表网站。每个圆的大小表示网站的用户规模;代表网站的圆的圆心到顶点的距离表示用户对网站的满意程度。用户对网站的满意程度越高,则该网站的圆心距离顶点越远;决定圆心位置的另一个因素为夹角 β ,它表示用户对该网站的重访率。在图2中, β 表征一个网站的用户重访率。用户对网站的重访率越高,则圆心的位置越靠近互联网空间的上边界,用户重访率越低的网站,其空间位置越靠近空间的下边界。

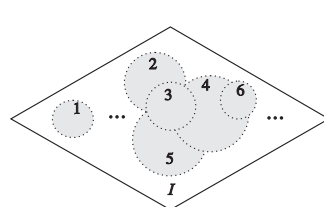


图1 互联网空间

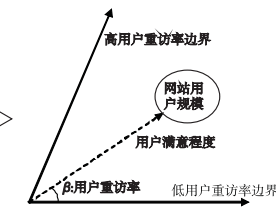


图2 网站发展空间模型架构

3 模型参数的计算方法

3.1 网站用户规模

网站用户规模是用来衡量网站用户数量的,是体现网站竞争实力最直接的指标。一个网站的用户规模是反映该网站用户覆盖规模的重要指标,可以帮助网站实时地了解其用户数量的增长过程。网站用户规模的统计方法如下:

$$U_s = \text{观察期间内访问网站的不重复用户数}$$

3.2 用户满意度

网站用户满意度是用户对访问网站发出请求的响应结果的满意程度。它与网站的用户行为之间有着密切的关系。

Kohli 等人^[17]提出用户发出请求的响应时间,用户每次访问的时长以及用户的访问深度均能体现用户对网站满意度的指标。本文对这三个指标作如下定义。

定义 6 请求响应时间-RRT。请求响应时间为在观测期间内客户端发出请求到得到响应的整个时间的平均值。响应时间越短,则用户对此次访问越满意。

定义 7 用户访问时长-Vdur。用户访问时长表示在观测期间内每个独立用户访问某一网站停留时间的均值。用户对网站的访问时长能够反映网站资源的质量水平及其对用户的吸引力。

定义 8 用户访问深度-Vdep。用户访问深度表示在观测期间内每个用户一次访问给网站所带来的页面浏览数量的平均值。访问深度能够反映网站对用户的吸引力及网站内容层次的丰富性。

本文使用请求响应时长、访问时长以及访问深度三个用户行为指标量化用户对网站的满意程度。详细计算步骤如下:

a) 假设研究的网站个数为 n , 第 i ($i=1, \dots, n$) 个网站有 u_i 个用户, 则第 i 个网站的三个行为指标均有 u_i 个样本值, 然后对网站 i 的每个指标的样本值求均值, 结果表示为 $M_i = (m_{i1}, m_{i2}, m_{i3})$ 。

b) 由于用户的请求响应时间、用户访问时长以及用户访问深度这三个指标的量纲不同, 因此这三个指标之间无可比性。为了使这三个指标具有可比性, 需要使用归一化方法将这三个指标标准化为无量纲的纯数值。本文采用一种新的对数归一化方法将这 n 个研究网站的三个指标归一化到无量纲上。该方法相对于以前的向量、线性或非线性的归一化方法更精确^[18]。它的归一化公式如下:

$$n_i = \frac{\ln(a_i)}{\ln(\prod_{i=1}^k a_i)} \quad i=1, \dots, k \quad (1)$$

其中: n_i 是序列值 a_i ($i=1, \dots, k$) 对应的归一化结果。对于研究的这 n 个网站, 它们的每个指标均值组合在一起均构成具有 n 个值的序列 $M_m = (m_{1m}, m_{2m}, \dots, m_{nm})$, $m=1, 2, 3$ 。用式(1)将序列 M_m 归一化后的结果记为 $N_m = (n_{1m}, n_{2m}, \dots, n_{nm})$, $m=1, 2, 3$ 。因此, 网站 i 的三个指标值最后表示为 $N_i = (n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{i3})$ ($i=1, \dots, n$)。

c) 指标的客观求权方法。将评价指标组合在一起一般采用加权方法。由于网站用户行为指标来源于真实数据, 因此网站用户依赖度的三个评价指标的权重应使用客观求权的方法。目前最常用的客观求权方法是由 Diakoulaki 等人^[19]的 CRITIC (criteria importance through intercriteria correlation)。相对于其他客观求权方法, CRITIC 不仅考虑了指标的变化大小, 还考虑了指标之间的冲突。CRITIC 计算指标权重公式如下:

$$w_j = \frac{C_j}{\sum_{j=1}^n C_j} = \frac{\sigma_j \sum_{i=1}^n (1-r_{ij})}{\sum_{j=1}^n \sigma_j \sum_{i=1}^n (1-r_{ij})} \quad j=1, \dots, n \quad (2)$$

其中: C_j 是第 j 个指标的信息量; σ_j 是第 j 个指标的标准差; r_{ij} 是指标 i 与指标 j 之间的相关系数。利用式(2)计算得到网站 i ($i=1, \dots, n$) 的三个指标的权重为 $W_i = (w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{i3})$ 。

d) 对于每一个网站的用户满意度 Sat, 即为该网站的三个指标归一化值与它们对应权重的乘积加权和。网站 i 的用户群体满意度为

$$\text{Sat}_i = \sum_{j=1}^3 n_{ij} w_{ij} \quad i=1, \dots, n \quad (3)$$

3.3 重访率

用户对网站的重访率表示在经历了很长的一段时间后, 某些用户依然使用某个网站的业务。重访率是在观测期间内, 每个用户重复访问某一个网站的频率。如果一个用户在观察期间内访问了某一网站 v 次, 则该用户对该网站的重访率 R_{vis} 为

$$R_{vis} = (v-1)/v \quad (4)$$

4 实验

在互联网中, 由于互联网的全球性, 网站的覆盖范围之大, 因此很难获得一个网站下所有用户群体的点击流数据。在本文中, 仅使用来自真实的某大型移动网络的用户点击流数据对本文提出的网站发展空间模型和模型参数的计算方法进行实验与验证。目前, 传统互联网的发展已经趋于稳定, 而移动互联网正处于快速发展阶段, 因此在移动互联网中, 各大网站的发展空间大小变化更明显, 更能体现和展示各大网站的发展演化过程。因此, 研究移动互联网中网站的发展过程具有象征性的意义。在接下来的实验中, 由于使用的是移动互联网的数据集, 因此本文使用移动互联网空间来表示互联网空间。

4.1 数据描述

本文的实验数据集有两批, 均来自重庆市某电信运营商。这两批数据集的收集时间相隔一年, 且收集时间为同一周的 WAP 网关日志。这些日志记录了移动终端通过 WAP 网关访问互联网的记录, 用户每访问互联网一次, WAP 网关就把该次访问的相关指标存储为一条记录。每条日志记录共包括 36 个字段, 最主要的有移动用户号码、客户端 IP 地址、目的 IP 地址、用户发出请求到达与离开 WAP 网关的时间、服务器响应的请求内容到达与离开 WAP 网关的时间、目的域名、URL、请求内容的类型、请求成功与否的状态等。第一批数据的采集时间是 2010 年 4 月 5 日 ~ 2010 年 4 月 11 日, 通过数据字段中的手机主叫号码共识别 80 690 个用户。第二批数据的采集时间是 2011 年 4 月 4 日 ~ 2011 年 4 月 10 日, 该批数据的用户数达到 274 808, 为第一批数据的 3.41 倍。从 WAP 网关的日志记录中可以提取用户访问互联网的相关行为指标。例如在观察期间内, 针对单个用户或者单个网站或者整个网络, 统计请求次数、会话数、平均访问时长、访问深度以及产生的流量等。

4.2 网站发展情况分布展示

由于网站用户规模是表征网站竞争实力最直接的指标, 因此本文选择第一批数据集中用户规模排名前六的网站对网站发展空间模型进行实验。这六个网站分别是 Ifeng、QQ、Baidu、Sina、Google、Taobao。这六个网站分别被标志为 A、B、C、D、E、F。根据本文所提出的网站发展空间模型中的模型参数计算方法, 得到第一批数据集中这六个网站的网站用户规模、网站用户满意度和重访率的数值计算结果, 如表 1 所示。

表 1 第一批数据集中六个网站的模型参数计算结果

指标	网站					
	A (Ifeng)	B (QQ)	C (Baidu)	D (Sina)	E (Google)	F (Taobao)
网站用户规模	10464	9771	5489	4650	4049	1473
网站用户依赖度	0.0720	0.0970	0.0778	0.0765	0.0705	0.0751
网站用户忠诚度	0.2565	0.6111	0.4989	0.3373	0.4238	0.2327

根据网站发展空间模型的架构以及表 1 中模型参数的计算结果, 得到这六个网站在移动互联网空间中的位置分布情况, 如图 3 所示。

结合表1与图3的实验结果,根据表征网站发展空间的大小比较可知,这六个网站的发展状况和发展趋势由好到差的排名依次为B、C、E、D、A、F。网站的综合竞争实力可由网站的发展现状和趋势直接体现,因此这六个网站的综合竞争实力由强到弱的排名依次也为B、C、E、D、A、F。

图3不仅直观地展示出了六个网站的发展现状,还可以对各个网站的发展趋势进行预测:网站B的用户规模较大,而且它的发展空间明显比其他几个网站的发展空间更大,可以预测该网站的发展趋势比其他五个网站好;网站C的用户规模较小,但是其用户忠诚度与用户依赖度都较高,其网站的发展空间较大,该网站的发展趋势仅次于网站B;网站E的用户规模较小,但是其用户忠诚度与用户依赖度都较高,其网站的发展空间大小排在网站C后,该网站的发展趋势较好;网站D的用户规模较小,但是其用户依赖度较高,其网站发展空间相对于网站A和F较大,该网站的发展趋势不如E好,但比网站A和F好;网站A的用户规模虽然较大,但是其用户忠诚度不高,所以该网站的发展空间不大,因此该网站的发展趋势排在网站D后,网站F之前;网站F的用户规模最小,且它的用户依赖度也最小,导致其发展空间最小,可见该网站的发展现状和发展趋势在这六个研究网站中是最不好的。

4.3 模型验证

为了验证网站发展空间模型的正确性以及有效性,本文研究第二批数据集中网站的发展形势是否与第一批数据集中根据模型预测的网站发展趋势相同。根据网站发展空间模型,分析第二批数据集中这六个网站Ifeng、QQ、Baidu、Sina、Google、Taobao的发展情况。基于模型参数计算,得到这六个网站在第二批数据的处理结果,如表2所示。将表2中各个网站的模型参数计算结果应用到网站的发展空间架构中,得到第二批数据集中这六个网站在移动互联网空间的位置分布图,如图4所示。

表2 第二批数据集中六个网站的模型参数计算结果

指标	A(Ifeng)	B(QQ)	C(Baidu)	D(Sina)	E(Google)	F(Taobao)
网站用户规模	16199	77799	54337	34417	15546	7922
网站用户依赖度	0.0834	0.1003	0.0882	0.0921	0.0986	0.0882
网站用户忠诚度	0.3462	0.7033	0.5632	0.4502	0.3466	0.2668

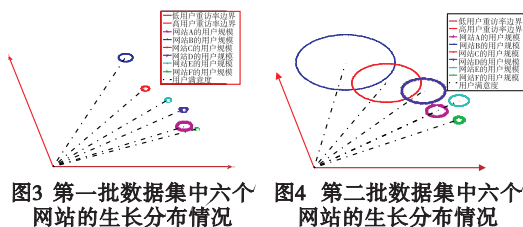


图3 第一批数据集中六个网站的生长分布情况

图4 第二批数据集中六个网站的生长分布情况

根据表2和图4的结果显示,在第二批数据集中,除了网站E,其他五个网站的发展现状与第一批数据集中预测的网站的发展趋势是相吻合的。根据调查,网站E即Google不符合这样的发展趋势是有原因的。自2010年3月起,Google的服务器退出了中国内地,转移到了中国香港,并且Google在中国大陆的用户增长的速度远远低于了其他网站。因此,网站E在移动互联网空间中的发展趋势也是合理的。根据两批数据结果的对比及分析,得到了本文提出的模型以及计算方法的正确性,不仅展示了各个网站在移动互联网空间中的发展现状,也准确地预测了各个网站的发展趋势,描述了各个网站的综合竞争实力。

5 结束语

本文从网络用户行为的角度对互联网中网站的发展进行了深入的研究。在互联网中引入了空间的概念,将互联网当成一个大的空间,将网站当成互联网空间中的子集。为了描述网站的发展状况,预测网站的发展趋势,进而展示网站的综合竞争实力,本文通过网站的用户规模、网站用户满意度与重访率三个参数建立了网站发展空间模型。基于用户行为指标,本文提出了三个模型参数的计算方法,从而在互联网空间中直观地展示网站的发展情况。最后利用真实的数据集对网站发展空间模型与模型参数的计算方法进行了实验,并利用相隔时间为一年的同一时间段的两批数据集对本文提出的方法进行了验证,展示了本文提出方法的正确性以及有效性。

本文所提出的网站发展空间模型最主要特点是可以直观地反映各个网站在互联网空间中的位置,展现网站的发展现状、发展趋势以及体现各个网站在互联网中的综合竞争实力。但由于本文只使用了一大型移动网络的数据集对模型进行实验,因此有待于使用更加完善的数据集对模型进行验证,既能包括传统互联网用户的访问行为,又能包括移动用户的访问行为。同时,本文只从用户的角度体现了网站的发展情况,网站本身的性能对网站的发展也是具有一定影响的。因此,在将来的工作中,本文可以将网站本身的性能特征与其用户群体的行为特征结合起来对网站的发展进行更深入的研究。

参考文献:

- [1] BENVENUTO F, RODRIGUES T, CHA M, et al. Characterizing user behavior in online social networks [C]//Proc of the 9th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement Conference. New York: ACM Press, 2009: 49-62.
- [2] MOGHADDAM S, HELMY A. Multidimensional modeling and analysis of wireless users online activity and mobility: a neural-networks map approach [C]//Proc of the 14th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems. New York: ACM Press, 2011: 401-408.
- [3] YU J, NICK D, GERBER A, HAFNER P, et al. Characterizing data usage patterns in a large cellular network [C]//Proc of the 2012 ACM SIGCOMM Workshop on Cellular Networks: Operations, Challenges, and Future Design. New York: ACM Press, 2012: 7-13.
- [4] GUA R, HAAS Z. Concurrent search of mobile users in cellular networks [J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 2004, 12(1): 117-130.
- [5] PAUL U, SUBRAMANIAN A P, BUDDHIKOT M M, et al. Understanding traffic dynamics in cellular data networks [C]//Proc of IEEE INFOCOM. [S. l.]: IEEE Press, 2011: 882-890.
- [6] CROVELLA M E, BESTAVROS A. Self-similarity in world wide Web traffic: evidence and possible causes [J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 1997, 5(6): 835-846.
- [7] FALAKI H, LYMBERPOULOS D, MAHAJAN R, et al. A first look at traffic on smartphones [C]//Proc of the 10th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement. New York: ACM Press, 2010: 281-287.
- [8] SHAFIQ M Z, JI Lu-sheng, LIU A X, et al. Characterizing and modeling Internet traffic dynamics of cellular devices [C]//Proc of ACM SIGMETRICS Joint International Conference on Measurement

在一定范围,防止网络拥塞发生。而传统的完全共享信道机制因不具有相应 QoS 约束,则不能保证可控范围内的水平阻塞率,其相应阻塞概率值则会随着业务量增多而持续上升。同样,本文所提出的接纳控制机制也通过设定垂直切换目标上限值来将业务响应阻塞率控制在特定范围内,调整网络负载均衡,提高网络平均效用,保证了用户良好的体验性,最终达到网络平均收益最大化的目的。

4 结束语

本文对于异构无线网络中具有 QoS 约束条件下的优化呼叫接纳控制模型进行了研究,基于马尔可夫决策过程理论定义了异构网络中不同类型业务接纳控制行为并推导了状态转移概率和效用评价机制。通过仿真分析可以表明,异构无线网络中优化接纳控制机制能够在保证不同类型业务接入和切换成功率的基础上最大化平均接纳效用,能够更好地满足用户和网络需求。

参考文献:

- [1] 刘克. 实用马尔可夫决策过程[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.
- [2] JEON W S. Call admission control for CDMA mobile communications systems supporting multimedia services [J]. *IEEE Trans on Wireless Communications*, 2002, 1(4): 649-659.
- [3] WANG Lei, ZHUANG Wei-hua. A call admission control scheme for packet data in CDMA cellular communications [J]. *IEEE Trans on Wireless Communications*, 2006, 5(2): 406-416.
- [4] HONG D, RAPPAPORT S S. Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and nonprioritized handoff procedures [J]. *IEEE Trans on Vehicular Technology*, 1986, 35(3): 77-92.
- [5] 卢辉斌, 周新建, 李娜. 3G 动态预留呼叫接纳控制算法研究[J]. 通信技术, 2008, 41(12): 235-238.
- [6] NIYATO D, HOSSAIN E. Call admission control for QoS provisioning in 4G wireless networks: issues and approaches [J]. *IEEE Network*, 2005, 19(5): 5-11.
- [7] ZHANG Shi-ying, YU R R, LEUNG V C M. Joint connection admission control and routing in IEEE 802.16-based Mesh networks [J]. *IEEE Trans on Wireless Communications*, 2010, 9(4): 1370-1379.
- [8] 陈明欣, 刘干, 朱光喜. WLAN 中基于效用的呼叫接纳控制策略[J]. 电子学报, 2008, 36(7): 1429-1434.
- [9] LI Wei, CHAO X. Call admission control for an adaptive heterogeneous multimedia mobile network [J]. *IEEE Trans on Wireless Communications*, 2007, 6(2): 515-525.
- [10] SONG Wei, JIANG Hai, ZHUANG Wei-hua, et al. Resource management for QoS support in cellular/WLAN interworking [J]. *IEEE Network*, 2005, 19(5): 12-18.
- [11] 王亚楠, 夏海轮, 冯春燕. 异构网络中多媒体业务的联合呼叫接纳控制[J]. 西安电子科技大学学报, 2010, 37(5): 953-959.
- [12] 陈明欣, 朱光喜, 刘干. 异构网络无线资源管理中的非合作博弈[J]. 小型微型计算机系统, 2009, 30(3): 446-450.
- [13] CHEN Huan, KUMAR S, KUO C C J. Dynamic call admission control scheme for QoS priority handoff in multimedia cellular systems [C]//Proc of IEEE Wireless Communications and Networking Conference. 2002: 114-118.
- [14] SON H, LEE S, KIM S C, et al. Soft load balancing over heterogeneous wireless networks [J]. *IEEE Trans on Vehicular Technology*, 2008, 57(4): 2632-2638.
- [15] 许应新, 许都. 基于短包优先的动态阈值共享缓存管理策略的研究[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(5): 1805-1807.
- [16] 李鹏, 王海燕. CDMA2000 系统小区无线容量分析[J]. 海南大学学报:自然科学版, 2006, 24(3): 261-264, 270.
- [7] (上接第 1157 页)
and Modeling of Computer Systems. New York: ACM Press, 2011: 305-316.
- [9] KIM J W, KUMAR V S, MARATHE A, PEI G, et al. Modeling cellular network traffic with mobile call graph constraints [C]//Proc of Winter Simulation Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2011: 3165-3177.
- [10] ZHANG Ying, ARVIDSSON A. Understanding the characteristics of cellular data traffic [C]//Proc of ACM SIGCOMM Workshop on Cellular Networks: Operations, Challenges, and Future Design. New York: ACM Press, 2012: 13-18.
- [11] ZHUO Xue-jun, GAO Wei, CAO Guo-long. An incentive framework for cellular traffic offloading [J]. *IEEE Trans on Mobile Computing*, 2014, 13(3): 541-555.
- [12] LESKOVEC J, BACKSTROM L, KUMAR R, et al. Microscopic evolution of social networks [C]//Proc of the 14th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. New York: ACM Press, 2008: 462-470.
- [13] FIGUEIREDO F, BENEVENUTO F, ALMEIDA J M. The tube over time: characterizing popularity growth of YouTube videos [C]//Proc of the 4th ACM International Conference on Web Search and Data Mining. New York: ACM Press, 2011: 745-754.
- [14] KAIRAM S, WANG D J, LESKOVEC J. The life and death of online groups: predicting group growth and longevity [C]//Proc of the 5th ACM International Conference on Web Search and Data Mining. New York: ACM Press, 2012: 673-682.
- [15] PARK K, WILLINGER W. The Internet as a large-scale complex system [M]. Oxford: Oxford University Press, 2005.
- [16] LIU Y B, YUAN P. A study of user downloading behavior in mobile Internet using clickstream data [C]//Proc of the 3rd International Symposium Intelligent Information Technology and Security Informatics. [S. l.]: IEEE Press, 2010: 255-257.
- [17] KOHLI S, KUMAR E. Evolution of user dependent model to predict future usability of a search engine [C]//Proc of World Congress on Information and Communication Technologies. [S. l.]: IEEE Press, 2011: 285-290.
- [18] ZAVADSKAS E K, TURSKIS Z. A new logarithmic normalization method in games theory [J]. *Informatica*, 2008, 19(2): 303-314.
- [19] DIAKOULAKI D, MAVROTAS G, PAPAYANNAKIS L. Determining objective weights in multiple criteria problems: the critic method [J]. *Computers and Operations Research*, 1995, 22(5): 763-770.
- [20] LIU Zi-long, XU Jian. Study on the effects of virtual community involvement on online stickiness and repurchase intention [C]//Proc of International Conference on e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning. [S. l.]: IEEE Press, 2010: 79-83.