

CTMC模型的企业热线话务信道的预测

叶秀斌

(厦门大学嘉庚学院信息科学与技术学院, 福建漳州 363105)

[摘要] 为了减少用户接通客服热线电话的等待时间, 同时控制企业在客服热线方面的投入成本, 结合用户行为, 基于企业数据, 采用连续时间马尔可夫链(continuous time Markov chain, CTMC)的数学模型对企业热线话务进行信道预测分析, 寻求影响信道需求的相关参数。对不同规模企业的话务进行仿真, 比在不同客户量、不同通话保持时间需求、不同通话频率条件下的成功通话率、阻塞通话率及系统占线率, 实现一种企业客服热线信道最佳资源配置的预测模型。

[关键词] 连续时间马尔可夫链模型; 客服热线; 话务信道; 信道预测; 系统占线率

[中图分类号] TN 916.2

Research on Enterprise Hotline Traffic Channel Prediction Based on CTMC Model

YE Xiubin

(School of Information Science and Technology, Xiamen University Tan Kah Kee College, Zhangzhou 363105, China)

Abstract: To reduce the waiting time for customers to connect to the customer service hotline and control corresponding investment cost of the enterprise, this paper established a continuous time Markov chain(CTMC) mathematical model based on the user behavior and enterprise data, which were used for channel prediction and analysis of enterprise hotline service, for seeking the relevant parameters that affect the channel demand. Through the traffic simulation of different scales of enterprises, comparing the successful call rate, blocking call rate and system occupancy rate under the conditions of different customer volume, different call holding time requirements, and different call frequency, this paper implements a prediction model of channel optimal resource allocation of customer service hotline.

Keywords: CTMC model; customer service hotline; hotline traffic channel; channel prediction; system busy rate

0 引言

面对高速的生活节奏, 为减少交通、排队等方面的时间消耗, 人们更倾向于通过热线电话来解决问题。然而, 不同规模企业在热线话务信道的投入存在差异。针对此种现象, 平衡客户需求与企业成本之间的关系显得至关重要。马尔可夫模型(Markov model)广泛应用于通信、交通、游客人数、公共基础设施建设等领域的预测, 准确度高, 分析相对简便, 是一种常见的预测方法。

[收稿日期] 2019-08-25

[基金项目] 福建省自然科学基金项目(2018J01101); 福建省中青年教育科研项目(JAT191089)

[作者简介] 叶秀斌(1986—), 女, 讲师, 硕士, 从事无线通信网络、电子技术与物联网研究。

文献 [1] 应用加权的马尔可夫链进行公路货运量的状态预测, 与回归分析法、趋势外推法、指数平滑法、生长曲线等方法相比, 加权马尔可夫模型预测建模简单、计算量小、精度较高, 不但能够得到预测年份的交通量区间, 而且还可以得到交通量在该区间发生的概率; 文献 [2] 利用马尔可夫对特殊天气条件下的铁路网络通过能力进行规律分析, 提出特殊天气对通过能力的影响类型是多样的, 但特殊天气条件下通过能力变化的转移概率与马尔可夫过程的“已知现在, 将来与过去无关”的思想一致, 基于马尔可夫链的能力计算方法更能容错各类不确定性因素, 可预测未来某时段的路网通过能力; 文献 [3] 提出, 信源比特率以及占用信道数目相对于时间的变化可被近似为一个多状态的连续时间马尔可夫链 (continuous time Markov chain, CTMC) 过程, 利用概率生成函数方法, 在瞬态分析的基础上对马尔可夫过程的状态进行了预测, 计算当时可以调度的剩余容量或数据包数量, 从而给出了量化资源利用率的数值结果; 文献 [4] 提出了一种在认知无线网络中基于最大吞吐量有效利用空闲二级用户的协作频谱感知顺序, 把主要用户的通信模式建立为 CTMC 过程来预测主要用户的状态, 当二级用户以最优顺序感知许可信道时, 系统获得最大吞吐量, 其方案可具有更大的信道利用率及更低的感知开销。

基于马尔可夫模型在以上预测领域的应用及信道预测方面的研究, 本文采用 CTMC 进行数学建模, 通过计算热线话务的成功通话概率、阻塞通话率以及系统占线概率, 寻找平衡点, 提出一种热线话务信道预测方法。

1 连续时间马尔可夫模型概念

马尔可夫模型是一种统计模型, 是一种可用于性能分析的经典的随机模型, 广泛应用在通信工程技术领域, 是一种通用的统计工具。它对应一种无后效性的随机过程——马尔可夫过程, 提出了一种能用数学分析方法研究自然过程的一般图式——马尔可夫链^[5]。

CTMC 是随时间连续变化、状态空间为离散集合的马尔可夫过程。假设一族与时间集合 T 有关的随机变量序列 $\{X_t | t \in T\}$, 其中 X_t 定义在同一个概率空间, 取值于有限状态空间 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 。由于 CTMC 的时间参数 T 取值于连续的时间区间, 马尔可夫过程可以表示为对任意时间序列 $t_n + \Delta t > t_n > t_{n-1} > \dots > t_0$, 有下式成立

$$\begin{aligned} P\{X_{t_n+\Delta t} = s' | X_{t_n} = s, X_{t_{n-1}} = s_{n-1}, \dots, X_{t_0} = s_0\} = \\ P\{X_{t_n+\Delta t} = s' | X_{t_n} = s\} = P\{X_{\Delta t} = s' | X_0 = s_0\}. \end{aligned} \quad (1)$$

由式 (1) 可见, 在一个时间变化间隔 Δt 里, 系统从状态 s 变化到状态 s' 的概率 (即转移概率) 与实际开始观察的时刻无关, 而与下一个状态 s' 和时间间隔 Δt 有关。其中 Δt 也可被认为是系统在某个状态上的停留时间。因此, 式 (1) 计算的概率既是 CTMC 在两个状态之间的转移概率公式, 也反应了 CTMC 中系统在某个状态 s 的停留时间 ST_s 所满足的概率分布^[5-6]。

2 CTMC 的话务信道预测模型

2.1 CTMC 的信道建模

本文采用 CTMC 对企业客服中心话务通信系统进行数学建模分析。系统由企业客服电话的信道数与拨打热线电话的客户总容量构成, 设置客户总人数为 M , 可用热线电话信道数为 N , 其中, $M \geq N$ 。假设每个客户都以 λ 的速率产生一个呼叫, 但并不代表目前的信道数目状态会产生转移, 因为当一个呼叫正在进行时不会产生新的呼叫。假定预测了话务系统每路信道的平均通话时间, 即通话保持时间 $t = (1/\mu)$, 其中 μ 为话务系统每路信道的平均接通速率。因此需要定义 π_i 为第 i 个通话成功接通的概率, 表示总共有 i 路信道正在通话, 则系统的马尔可夫状态序列^[7-8]如图 1 所示。图 1 中马尔可夫状态序列包含了整个热线话务系统的 N 路信道, 体现了从 0 个信道被占用到 N 个信道全部被占用的过程, 可反映实际应用中的客服热线话务信道情况。

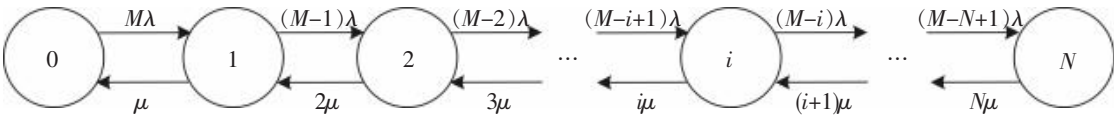


图 1 热线话务系统马尔可夫状态序列图

Fig.1 Markov state sequence diagram of hotline traffic system

2.2 CTMC 的话务信道预测方法

通过以上建立的 CTMC 数学模型对话务信道进行预测，由图 1 可见，客户接入信道产生新信道占用与信道结束保持通话时间释放新信道互为逆过程。因此，在相同信道占用数目的同一种马尔可夫序列状态下具有相同的概率^[9-10]，可得

$$(M-i)\lambda\pi_i=(i+1)\mu\pi_{i+1}, \tag{2}$$

则 $\pi_i=(M-i+1)\lambda\pi_{i-1}/(i\mu)=M!(\lambda/\mu)^i\pi_0/((M-i)!i!)$, $i\leqslant N$ 。

由于所有状态的概率之和为 1，即 $\sum_{i=0}^N\pi_i=1$ ，则

$$\pi_0=1/\left\{\sum_{i=0}^NM!(\lambda/\mu)^i/[(M-i)!i!]\right\}。 \tag{3}$$

由于通话占线仅发生在系统客户咨询总量为 N 时，则

$$\pi_N=[M!(\lambda/\mu)^N/((M-N)!N!)]/\sum_{i=0}^N[M!(\lambda/\mu)^i/((M-i)!i!)]。 \tag{4}$$

然而，这不是占线概率。将客户呼叫被拒绝的概率定义为客户阻塞通话率，表达式为

$$P_b=(M-N)\lambda\pi_N。 \tag{5}$$

而系统整体产生呼叫的速率则定义为客户成功通话率：

$$P_s=\sum_{i=0}^{N-1}(M-i)\lambda\pi_i=(M-N)\lambda, \tag{6}$$

\bar{N} 是正在进行的呼叫的平均数目，

$$\bar{N}=M-\sum_{i=0}^{N-1}[M!(\lambda/\mu)^i\pi_0/((M-i-1)!i!)], \tag{7}$$

则整个客服热线通信系统的话务占线概率为：

$$P_{th}=P_b/(P_b+P_s)。 \tag{8}$$

3 话务信道系统仿真与性能分析

3.1 开设信道数性能分析

根据 CTMC 的话务信道预测方法，在 M 个客户与 N 个通话信道的情况下，假设每个用户进行下一个呼叫的间隔时间是 $t_g=1/\lambda$ ，则每个用户产生一个呼叫的速率为 λ ；每个信道的平均通话时间为 \bar{t}_c ，则系统占用信道减少的速率 $\mu=1/\bar{t}_c$ ，令 $\rho=\lambda/\mu$ 。以下选择 10 个客户的小型企业作为案例进行分析。

客户人数 $M=10$ ，信道数 $N\in[0,10]$ ，假设 $t_g=30\text{ min}$ ，则 $\lambda=1/t_g=1/30$ ； $\bar{t}_c=3\text{ min}$ ，则 $\mu=1/\bar{t}_c=1/3$ ； $\rho=\lambda/\mu=1/10$ 。

当 $N=1$ 时，单线电话中，由式 (2) 可得 $10\lambda\pi_0=\mu\pi_1$ ，则 $\pi_1=10\lambda\pi_0/\mu=\pi_0$ ， $\pi_1=\pi_0=0.5$ 。分别计算出以下概率，成功通话数： $10\lambda\pi_0=1/6\text{ min}$ ；占线通话数： $9\lambda\pi_1=3/20\text{ min}$ ；阻塞通话率： $(3/20)/[(1/6)+(3/20)]=9/19\approx0.4737$ 。

当 $N=2$ 时，双线通话中， $\pi_1=10\lambda\pi_0/\mu=\pi_0$ ； $\pi_2=9\lambda\pi_1/(2\mu)=9/20\pi_1$ ； $\pi=[\pi_0,\pi_1,\pi_2]=[20/49,20/49,9/49]$ 。分别计算出以下概率，成功通话率： $10\lambda\pi_0+9\lambda\pi_1=38/147\text{ min}$ ；阻塞通话率： $8\lambda\pi_2=12/245\text{ min}$ ；系统占线概率 = 被阻止的通话所占比 = $(12/245)/[(12/245)+(38/147)]\approx0.1593$ 。

依此类推，还可计算出 $N = 3 \sim 10$ 其他组别的话务概率，计算数据如表 1 所示。

表 1 企业话务系统数据分析 ($M = 10, t_g = 30 \text{ min}, \bar{t}_c = 3 \text{ min}$)

Tab. 1 Data analysis of enterprise traffic system ($M = 10, t_g = 30 \text{ min}, \bar{t}_c = 3 \text{ min}$)

通话信道数 N	阻塞通话时间	成功通话时间	系统占线概率
Numbers of call channels N	Numbers of blocked calls/min	Numbers of successful calls/min	System busy probability
0	$3.333\ 3 \times 10^{-1}$	0	1
1	$1.500\ 0 \times 10^{-1}$	$1.666\ 7 \times 10^{-1}$	$4.736\ 8 \times 10^{-1}$
2	$4.898\ 0 \times 10^{-2}$	$2.585\ 0 \times 10^{-1}$	$1.592\ 9 \times 10^{-1}$
3	$1.089\ 5 \times 10^{-2}$	$2.931\ 3 \times 10^{-1}$	$3.583\ 6 \times 10^{-2}$
4	$1.621\ 0 \times 10^{-3}$	$3.015\ 6 \times 10^{-1}$	$5.346\ 7 \times 10^{-3}$
5	$1.619\ 4 \times 10^{-4}$	$3.028\ 8 \times 10^{-1}$	$5.343\ 8 \times 10^{-4}$
6	$1.079\ 5 \times 10^{-5}$	$3.030\ 2 \times 10^{-1}$	$3.562\ 4 \times 10^{-5}$
7	$4.626\ 5 \times 10^{-7}$	$3.030\ 3 \times 10^{-1}$	$1.526\ 8 \times 10^{-6}$
8	$1.156\ 6 \times 10^{-8}$	$3.030\ 3 \times 10^{-1}$	$3.816\ 9 \times 10^{-8}$
9	$1.285\ 1 \times 10^{-10}$	$3.030\ 3 \times 10^{-1}$	$4.241\ 0 \times 10^{-10}$
10	0	$3.030\ 3 \times 10^{-1}$	0

根据以上预测模型及表 1 数据，设置固定信道通话保持时间 $\bar{t}_c = 3 \text{ min}$ ，客户呼叫间隔 $t_g = 30 \text{ min}$ ，采用 MATLAB 软件对客户数 $M = 10$ 的企业规模进行数据仿真与分析，预测其企业客服热线话务开设信道数，结果如图 2 所示。由图 2 可见，系统占线的小概率并非仅发生在 10 个客户对应 10 个通话信道的情况才得以实现。对于客户数 $M = 10$ 的企业，当开启 5 ~ 6 个通话信道时，客户成功通话率已达到最高，对应的客户阻塞通话率及整个系统的占线概率也降低至趋于 0。因此设置 5 ~ 6 个电话信道即可满足客户需求，同时降低了企业在客服热线上的投入成本。

3.2 企业规模性能分析

经过前面的案例分析，猜测增加客户人数应该有相似预测结果。以下分别对客户人数 $M = 50, 150$ 2 种不同规模的企业热线话务作进行预测与分析。信道数 $N \in [0, M]$ ，假设 $t_g = 5 \text{ min}$ ，则 $\lambda = 1/t_g = 1/5$ ； $\bar{t}_c = 3 \text{ min}$ ，则 $\mu = 1/\bar{t}_c = 1/3$ 。仿真结果如图 3 所示。

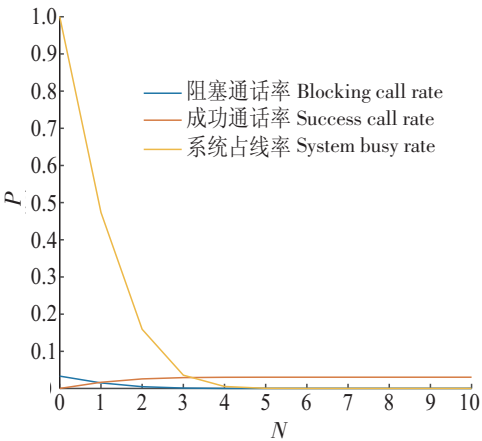


图 2 企业话务信道预测
Fig.2 Traffic channel prediction of enterprises

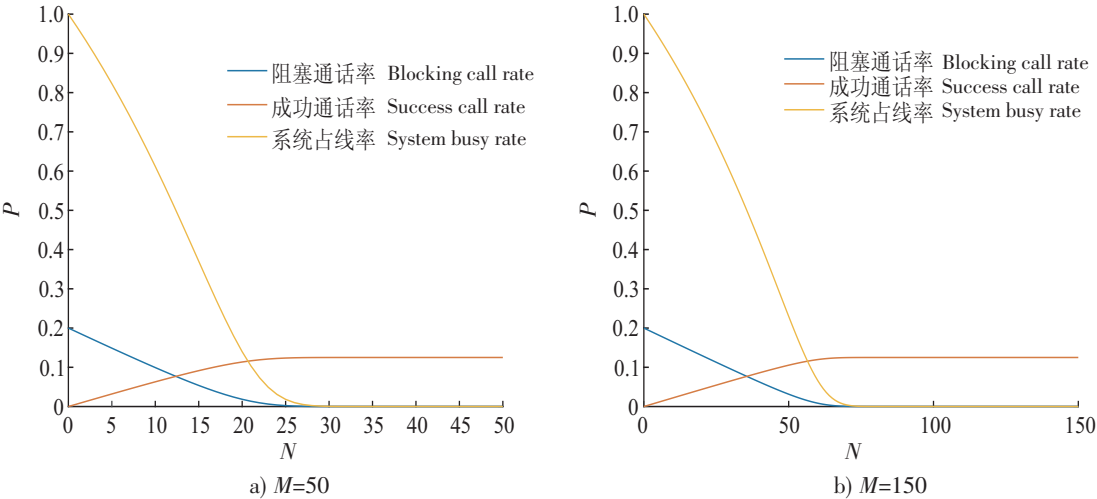


图 3 不同规模企业话务信道预测 ($M=50, 150$)
Fig.3 Traffic channel prediction of different scale enterprises ($M=50, 150$)

由图 3 可见，两种不同规模的企业均可以找到一个平衡点使其信道资源得到最佳利用。当 $M=50$ 个客户容量的企业，仅需设置约 28 个信道即可满足客户的需求；当 $M=150$ 个客户容量的企业，仅需设置约 70 个信道即可满足客户的需求。同时，对比两种不同规模企业的话务，在设置相同的客户呼叫间隔与信道通话保持时间的情况下， $M=50$ 规模企业开设信道数与用户数比值为 $28/50$ ； $M=150$ 规模企业开设信道数与用户比值为 $70/150$ ，可见，人数规模越大的企业信道利用率更高^[11]。

3.3 客户行为性能分析

考虑到不同的企业具有不同的客户群呼叫行为特点及业务咨询占用信道时长，分为闲忙两种时段对客户数 $M=100$ 的企业话务进行预测^[12]。假设忙时时段的客户呼叫间隔 $t_{g1}=1\text{ min}(\lambda_1=1)$ ，闲时时段的客户呼叫间隔 $t_{g2}=5\text{ min}(\lambda_2=1/5)$ ，分别在这两种情况下对不同时长的信道通话保持时间 $t_{c1}=3\text{ min}(\mu_1=1/3)$ 及 $t_{c2}=5\text{ min}(\mu_2=1/5)$ 进行客服热线话务系统预测，其仿真结果如图 4 所示。

从图 4 的 4 种预测结果可见，不同客户行为体现为客户呼叫间隔与信道通话保持时间这两种参数，它们均会影响信道投放的数量：相同的客户呼叫间隔，信道通话保持时间越长，所需开设的信道数应越多才足以满足客户需求；若保持相同的信道通话时间，客户呼叫间隔越短，即呼叫频率升高，用户成功通话率快速上升，此时意味着话务越繁忙，所需要开通的信道数也越多。

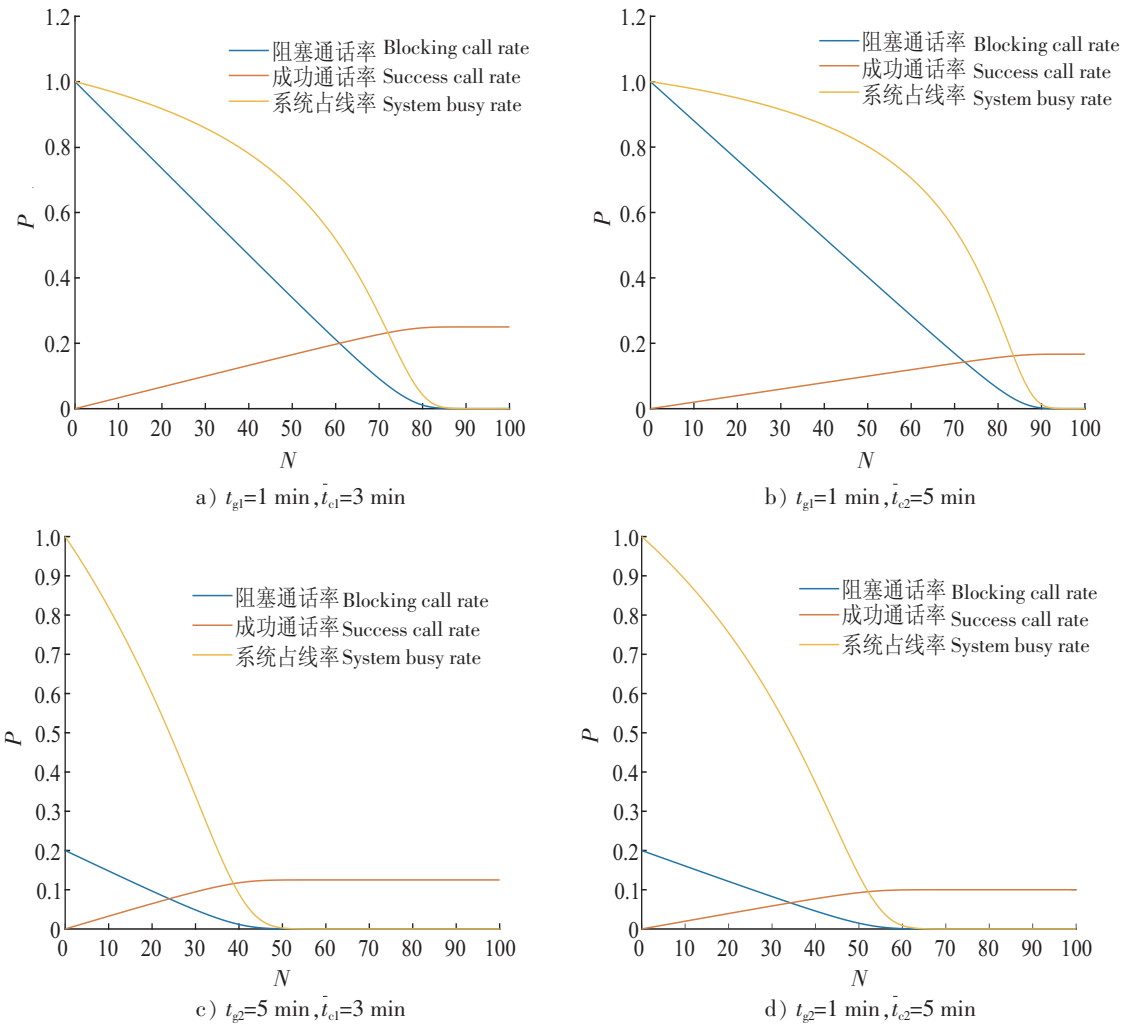


图 4 不同客户行为下的企业话务信道预测 ($M=100$)

Fig.4 Traffic channel prediction under different customer behaviors ($M=100$)

总之, 通话占线率与系统占线率的下降是需要增加系统开放信道个数, 根据客户群体行为对系统话务进行预测, 调整信道投放个数, 有利于降低小型企业在客服热线上的投入成本。在实际应用中, 此预测模型可以通过闲忙两个时段调整客户呼叫间隔与信道通话保持时间进行信道的合理分配, 节约信道资源, 同时又能满足客户需求。

4 结论

本文提出的基于 CTMC 的话务信道预测模型, 可根据不同的客户群体、不同的企业规模设定不同的参数, 对企业客服话务情况进行预测。通过 MATLAB 软件对预测算法进行仿真, 结果发现, 在客户需求量和企业客服电话信道数量之间存在平衡点, 可节约资源配置。在实际应用中, 可以根据企业规模、业务需求、客户行为、闲忙时段等实际情况为不同企业定制最优的热线话务信道开设方案, 满足客户需求, 减少客户呼叫等待时间, 保证客户优质服务, 同时节约信道资源与客服人力资源, 降低企业运营成本。

[参考文献]

- [1] 王金艳. 加权马尔可夫模型在公路货运量预测中的应用 [J]. 数学的实践与认识, 2006, 39(9): 162-167.
- [2] 韩国兴, 秦勇, 徐杰, 等. 特殊天气条件下基于马尔可夫链的线路通过能力变化规律研究 [J]. 交通部管理干部学院学报, 2016, 26(4): 24-27.
- [3] RANDHAWA T S, HARDY R H S. Transient-state analysis based access control in wireless CDMA networks supporting integrated services [C] //10th International Conference on Telecommunications (ICT 2003). Papeete, Tahiti, French Polynesia: IEEE, 2003: 799-805.
- [4] LIU X Y, LI J D, JIANG J. Optimal cooperative sensing order using inactive secondary users in cognitive radio networks [J]. Chinese Journal of Electronics, 2014, 23(2): 394-398.
- [5] 赵锡英. 随机进程代数的等价性判定计算 [D]. 兰州: 兰州大学, 2007.
- [6] 袁飞云, 封蕾, 夏清国. 基于 CTMC 的工作流网过程定义性能分析 [J]. 现代电子技术, 2011, 34(6): 62-65.
- [7] 吴凯宗, 孟庆红, 徐鸣. 条件概率公式在一类马尔科夫报酬模型上的计算 [J]. 中国科技论文, 2017, 12(17): 1959-1965.
- [8] POMPIGNA A, RUPI F. Comparing practice-ready forecast models for weekly and monthly fluctuations of average daily traffic and enhancing accuracy by weighting methods [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 2018, 5(4): 239-253.
- [9] ZHANG J, SMITH D, CHEN Z. Linear finite state Markov chain predictor for channel prediction [C] //IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Sydney: IEEE, 2012: 2085-2089.
- [10] 叶可江, 孙永仲, 须成忠. 基于马尔可夫链和时间序列模型的服务器负载预测方法及系统: 109787855A [P]. 2019-05-21.
- [11] 王超, 朱红, 万鹏, 等. 一种大型呼叫中心的热线来话预测方法: 101132447A [P]. 2008-02-27.
- [12] 于杨, 王子超, 高婷婷, 等. 基于连续时间马尔可夫链进行用户行为分析的方法和装置: 104052617A [P]. 2014-09-17.

(责任编辑 马建华 英文审校 黄振坤)