

Service Quality Evaluation Algorithm for 12322 Earthquake Hotline Based on Queuing Theory

Lihui ZHENG^{1,2}, Qimei CUI¹, Xing HONG²

¹School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing, China

²Earthquake Administration of Fujian Province, Fuzhou, China

Email: newbk2@163.com, cuiqimei@bupt.edu.cn

Abstract: To evaluate the service quality of 12322 earthquake hotline effectively, a queuing model of M/M/m (m) is constructed. Queuing theory is used to solve the queuing model, then the method for evaluate the hotline's service ability is put forward. Results of simulation indicated that the algorithm can provide referenced models and service quality evaluation calculation methods for 12322 earthquake hotline design.

Keywords: communication network; algorithm; queuing theory; earthquake; hotline; model

基于排队理论的 12322 地震热线服务质量评价算法

郑黎辉^{1,2}, 崔琪楣¹, 洪星²

¹北京邮电大学, 信息与通信工程学院, 北京, 中国, 100876

²福建省地震局, 福州, 中国, 350003

Email: newbk2@163.com, cuiqimei@bupt.edu.cn

摘要: 为了有效评价 12322 地震热线的服务质量, 将地震热线建模为多窗口的即时拒绝排队模型 M/M/m (m)。应用排队理论求解该模型, 引出评价 12322 热线服务质量的算法。实例仿真计算结果表明, 该算法可为全国各地进行 12322 热线设计提供参考模型和服务质量评价计算方法。

关键词: 通信网络; 算法; 排队论; 地震; 热线; 模型

1 引言

2008年,汶川8级特大地震造成了巨大的人员和财产损失,地震作为一种影响范围广泛的公共安全事件日益受到社会民众的关注。2009年5月8日,中国工业和信息化部、中国联通公司和中国地震局在北京联合宣布在全国启动12322防震减灾公益服务热线,为民众提供震后震情信息查询、普及地震基础知识和宣传紧急避险和自救互救防震常识等服务。全国42个省、直辖市和自治区分别依托本地区中国联通虚拟呼叫中心平台(语音天地平台)为核心建立一套结合自动语音播报、人工座席服务、知识库、座席录音和座席监控等多项功能的12322防震减灾公益服务热线呼叫中心系统,实现全国呼叫号码统一、服务标准一致、数据集中管理。这是我国首次专门设立和开通防震减灾公益服务热线,热线服务能力和服务质量是否可以满足本地区平时和震时的需求,是规划设计和建设12322热线的重要指标,有必要进行系统地研究,为12322

热线服务质量评价体系的建立进行有益的探讨。

2 热线服务特征分析

12322热线的业务运行工作流程和服务特征是分

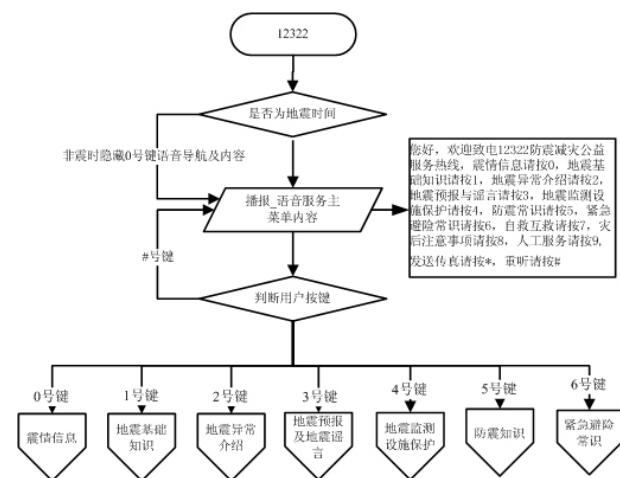


Figure 1. Flowchart of hotline work

图 1. 热线工作流程图

基金项目: 地震科学联合基金项目(106094)资助。

析、研究热线服务能力和质量的基础。社会民众可通过手机、固定电话等通信手段 24 小时直接拨打 12322 统一号码进入本省的 12322 热线系统, 热线系统依托联通虚拟呼叫中心平台为民众提供自动语音功能和人工座席服务, 其中自动语音功能按照中国地震局的业务要求定制多级导航、自助服务菜单, 在平时没有发生地震时主要为民众提供地震基础知识、地震异常介绍、防震知识、紧急避险常识、自救互救和灾后注意事项等服务, 若发生地震, 自动语音或快速切换到震时模式, 增加播放震后最新震情等信息; 人工座席主要为民众提供“声对声”的信息咨询、应急救援、投诉受理建议等人工语音服务。其基本工作流程如图 1 所示:

3 热线服务模型

12322 热线租用本地区中国联通的虚拟呼叫中心平台面向社会提供服务, 按照租用的交互式语音应答 IVR (interactive voice response) [1] 线路端口数量计算租金, 线路端口数量资源必然是有限的。由于民众拨打 12322 热线需求的随机性和线路端口数量资源的有限性, 拨打热线的民众和 12322 热线构成了一个典型的排队服务系统。排队模型全面研究了顾客在服务台接受服务的整个过程, 将顾客的到达强度、等待时间和服务台的服务时间有机地结合起来, 因此是研究 12322 热线服务系统的理想模型 [2]。排队模型三要素 (窗口数 m 、顾客到达率 λ 、系统的服务率 μ) 是研究排队服务系统的基石。12322 热线排队服务模型的窗口数 m 对应自动语音服务 IVR 端口数量 (人工座席因服务时间为任意分布, 不列在本文讨论范围), 各省租用的自动语音 IVR 端口数量 m 大都为几十路, 可认定是一个多窗口的服务系统; 顾客到达率 λ 对应平时或震时平均时间内打进 12322 热线电话的民众人数; 系统服务率 μ 对应平均时间内打进热线且服务完毕后离开的民众人数。

12322 热线服务系统的业务运行基本特征是: 在平时, 拨打热线的人数较少, 但在震时或其它异常情况时, 拨打热线的人数会出现快速的增长, 一般会持续 2-7 天, 在单位时间内拨打热线的人数有明显的差异, 但如果把平时和震时分成两种状态分开观察, 发现无论在平时或震时, 拨打热线的人数都是随机的, 拨打人数基本与时间段无关, 因此两种状态均具有平稳性; 拨打热线的民众来自全省甚至全国各地, 均是互相独立、随机地拨打, 因此具有无后效性; 在平时, 由于拨打热线的人数较少, 两个以上民众同时拨打的

概率几乎没有, 在震时, 震后极短时间内拨打热线的人数可能瞬间的爆发, 存在多人同时拨打热线的概率, 一般持续半小时左右, 然后进入一个相对平稳的状态, 因此基本认定满足疏稀性。满足上述平稳性、无后效性和疏稀性的业务特征可证明不论是平时还是震时, 拨打热线民众是一个符合 Poisson 分布的顾客流 [3]。民众拨打热线的时间间隔 t 表现为负指数分布的随机变量, 其概率密度:

$$a(t) = l e^{-lt} \quad (1)$$

这种指数分布所导致的排队过程, 具有马尔可夫性, 可简称为 M 分布。把上述分析用于民众拨进热线完成自动语音服务的过程, 也可得到相应结果。假设每个用户在拨打进热线后服务的时间为 τ , 服务时间 τ 的概率密度:

$$b(t) = m e^{-mt} \quad (2)$$

12322 热线服务系统面向社会民众, 采用通常的先到先服务工作方式。由于本系统是一个多线路的电话语音服务系统, 全部线路只要被占满, 其它人就无法打进去。因此, 12322 热线服务排队模型是一个符合 M 分布的多窗口的即时拒绝系统 [4], 用肯德尔记号标识为: M/M/m(m)。

4 服务能力与质量评价

4.1 热线 IVR 端口开通数量计算方法

12322 热线开通后, 我们可以分别统计平时 (以一个月为周期) 及震时 (以一周为周期) 相继两个民众拨打热线的时间间隔 t (单位为分钟), 计算出平时和震时的平均时间间隔, 其倒数即为每分钟拨打热线的人数 λ (顾客到达率)。同理, 我们可以分别统计平时及震时民众拨进热线后完成自动语音服务的时间 τ (单位为分钟), 并计算出平时和震时的平均服务时间, 其倒数即为每分钟完成自动语音服务的人数 μ (系统服务率)。令热线服务系统排队强度 ρ 为:

$$r = l/m \quad (3)$$

当式(3)中排队强度 ρ 小于 1 时, 说明单位时间内拨打热线的人数少于完成服务后离开的人数, 热线需要一条线路就可以满足需求; 当 ρ 大于 1 时, 说明单位时间内拨打热线的人数多于完成服务后离开的人数, 一条线路已经无法满足需求, 需要多条线路同时提供服务; 当 ρ 大于等于租用的 IVR 端口线路数 m 时, 说明拨打

12322 热线的民众数将导致全部租用的线路被占满, 会出现因占线而无法成功拨入的呼损现象, 即有人被拒绝服务^[5]。从上述分析发现, 只要租用的 IVR 端口线路数 m 不小于排队强度 ρ , 基本不会出现因占线而无法成功拨入的呼损现象, 从而保证了热线服务能力和质量。只要合理统计出平时和震时的 λ 和 μ (单位: 人/分钟), 就可以较准确估算出满足本地区平时和震时需求而租用的 IVR 端口数 m , 如表 1 所示。

Table 1. Resulting data of IVR simulation calculation
表 1. IVR 模拟计算结果数据

	$\mu=0.4$	$\mu=0.3$	$\mu=0.2$	$\mu=0.1$
$\lambda=1$	$m=2.5$	$m=3.3$	$m=5$	$m=10$
$\lambda=2$	$m=5$	$m=6.7$	$m=10$	$m=20$
$\lambda=3$	$m=7.5$	$m=10$	$m=15$	$m=30$
$\lambda=4$	$m=10$	$m=13.3$	$m=20$	$m=40$
$\lambda=5$	$m=12.5$	$m=16.7$	$m=25$	$m=50$
$\lambda=6$	$m=15$	$m=20$	$m=30$	$m=60$
$\lambda=7$	$m=17.5$	$m=23.3$	$m=35$	$m=70$
$\lambda=8$	$m=20$	$m=26.7$	$m=40$	$m=80$
$\lambda=9$	$m=22.5$	$m=30$	$m=45$	$m=90$
$\lambda=10$	$m=25$	$m=33.3$	$m=50$	$m=100$
$\lambda=20$	$m=50$	$m=67$	$m=100$	$m=200$
$\lambda=30$	$m=75$	$m=100$	$m=150$	$m=300$
$\lambda=100$	$m=100$	$m=333$	$m=500$	$m=1000$

根据计算结果得到本地区平时和震时需要的线路数 m , 全国各地在向中国联通公司租用 IVR 端口时, 可以采取一种策略: 平时只开通较少的 IVR 端口数, 一旦发生地震或其它异常情况, 迅速切换并开通震时所需的 IVR 端口数, 避免因拨打热线人数迅速增加导致的呼叫拒绝现象, 既保障了平时和震时的热线服务能力和质量, 又不造成线路资源的浪费, 节省了大量昂贵的线路租金。

4.2 热线服务能力与质量评价方法

全国各地陆续开通 12322 热线后, 其自动语音服务是否可以满足平时和震时的需求, 现有 IVR 端口数条件下民众拨打热线占线被拒绝服务的情况如何? 是必须关心和重视的重要指标。另外, 12322 热线随着时间和不断宣传等因素, 将有越来越多的民众使用, 或者某一地区发生一个震动强烈的大地震, 也会导致拨打热线的人数瞬间达到平时的几十倍, 出现浪涌呼叫现象, 都有可能导导致热线服务能力和质量无法满足

民众的需求。因此, 需要一个有效的量化的热线服务能力评价方法。

上述分析研究已知, 12322 热线是一个多窗口的即时拒绝排队模型。利用排队理论^[3-4]对该模型进行求解, 可令任一时刻正在进行自动语音服务的民众数 k 作为系统的状态变量, 因此, 全部只有 $m+1$ 种状态。 k 增加 1 的转移概率均为 λ , 但减 1 的转移概率与 k 有关。当 $k < m$ 时, 有 k 个窗口被占用, 则服务率为 $k\mu$; 当 $k=m$ 时, m 个窗口均被占用, 则服务率为 $m\mu$ 。状态转移图如图 2 所示。

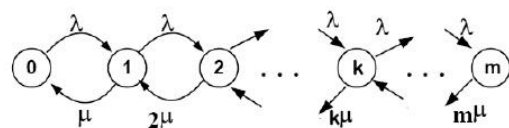


Figure 2. Figure of state transition
图 2. 状态转移图

根据图 2 状态转移图, 根据柯尔莫哥洛夫方程可得到下列方程组:

$$\begin{cases} k=0 & -l p_0 + m p_1 = 0 \\ 0 < k < m & l p_{k-1} + (k+1) m p_{k+1} - (l + k m) p_k = 0 \\ k=m & l p_{m-1} - m m p_m = 0 \end{cases} \quad (4)$$

式(4)中 P_k 为民众数为 k 的概率。利用 P_k 的归一性条件:

$$\sum_{k=0}^m p_k = 1 \quad (5)$$

可以顺利求出方程的稳态解 P_k 。

$$\text{令 } r = \frac{l}{mm} \text{ 得 } p_k = \begin{cases} \frac{(mr)^k}{k!} p_0, & 0 \leq k \leq m \\ \frac{(mr)^k}{m! m^{k-m}} p_0, & k \geq m \end{cases} \quad (6)$$

式(6)中当拨打热线的民众数 k 达到线路数 m 时的概率, $P_k=P_m$, 由于所有线路被占满, 因此 P_m 即为民众拨打热线被拒绝概率。 P_m 为:

$$p_m = \frac{a^m/m!}{\sum_{r=0}^m \frac{a^r}{r!}} \quad (7)$$

式(7)中 $a=\lambda/\mu$, 称为呼叫量。当一个地区的 12322 热线开通并投入运行后, 我们可以已知在呼叫量 a 和 IVR 端口数 m 前提下, 根据式(7)计算出拒绝概率 P_m 。

我们可以设定一个 P_m 阈值（如 $P_m=0.2$ ），表征可以接受的热线系统服务质量。我们以实际数据为例，计算拒绝概率 P_m 与呼叫量 a 和 IVR 端口数 m 的关系。如图 3 所示。

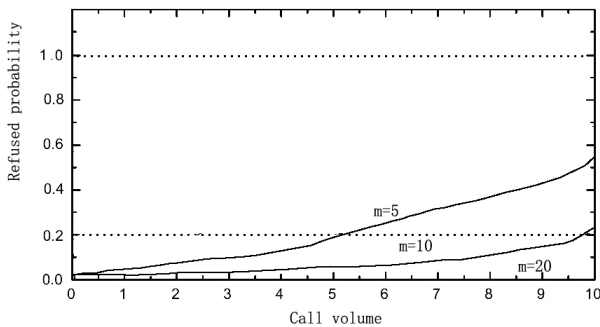


Figure 3. Curve: system feature of hotline

图 3. 热线系统特性曲线

从计算结果图 3 显示，若开通 5 条 IVR 端口数，当呼叫量 a 达到 5 时， P_m 就达到阈值 0.2，说明热线服务质量下降到无法接受，当呼叫量 a 达到 10 时， P_m 就达到 0.56；若开通 10 条 IVR 端口数，当呼叫量 a 达到 10 时， P_m 才达到阈值 0.2；若开通 20 条 IVR 端口数，当呼叫量 a 达到 10 时， P_m 几乎还是 0。通过该算法，我们可以在热线服务质量下降到一定水平时，及时采取必要的措施或提前做出必要的调整，如增加 IVR 端口数 m ，或者减少自动语音的内容以提高系统服务率 μ 。否则，12322 热线不仅无法起到服务社会民众地震信息服务的窗口作用，反而对地震部门的形象造成严重的不良影响。

5 结论

社会民众拨打 12322 防震减灾公益热线的过程服

从 Poisson 过程，12322 热线自动语音服务时间服从强度为 μ 的负指数分布，可用多窗口的即时拒绝排队模型 $M/M/m(m)$ 排队模型描述 12322 热线的排队服务系统。该模型不仅可以较准确估算出各地区平时和震时需要租用的 IVR 端口数，既保证了服务质量，又避免了通信线路资源和经费的浪费；而且适合建立热线服务质量评价体系，为保证服务质量提供了可量化的指标。可为全国各地规划、设计和开通 12322 防震减灾公益热线提供了有益的参考。

致 谢

感谢北京邮电大学崔琪楣副教授的指导以及所作出的辛勤工作；同时感谢福建省地震局洪星高级工程师的协助和研究工作。

References (参考文献)

- [1] Wang Xiaolin, The design of IVR business platform [J], *Journal of Human University of Technology*, 2008, 22(6), P94-96 (Ch).
王小良. IVR 业务平台设计 [J], 湖南工业大学学报, 2008, 22(6): 94-96.
- [2] Huang Haiou, Zhang Wei, Li Xiaochun, Research on Capacity of Locks on the Grand Canal With Queuing Theory[J], *Journal of Wuhan University of Technology*, 2009, 33(3), P604-607 (Ch).
黄海鸥, 张伟, 李晓春. 基于排队理论的京杭运河船闸通过能力研究 [J], 武汉理工大学学报, 2009, 33(3): 604-607.
- [3] Ji Yang, Theory Schema of Communication Network [M], *Beijing University of Posts and Telecommunications Press*, 2009, (Ch).
纪阳. 通信网理论概要 [M], 北京邮电大学出版社, 2009.
- [4] Lu Chuanlai, Queuing Theory [M], *Beijing University of Posts and Telecommunications Press*, 1994, (Ch).
陆传赉. 排队论 [M], 北京邮电大学出版社, 1994.
- [5] Shao Lishong, Zhang Heying, Dou Wenhua, Window-based End-to-End Congestion Control: Network Stability and Efficiency [J], *Chinese Journal of Computers*, 2006, 29(3), P253-260 (Ch).
邵立松, 张鹤颖, 窦文华. 基于窗口的端到端拥塞控制: 网络稳定性与效率 [J]. 计算机学报. 2006, 29(3): 253-260.