



基于 Arena 的食堂就餐过程建模与仿真

周 鑫, 卢晓军

(国防科学技术大学信息系统与管理学院, 长沙 410072)

摘要: 针对基于离散事件的食堂就餐过程进行深入分析, 建立了就餐过程中的服务活动模型、就餐方式模型、就餐人员满意度模糊模型。结合实例, 采用 Arena 软件对小型食堂的就餐过程进行仿真, 通过仿真结果对就餐过程进行评价, 找到了影响就餐人员满意度的主要因素, 同时给出了减少等待时间和食堂成本的方案。研究内容为食堂管理人员决策提供了参考, 具有一定的实际意义。

关键词: 系统建模; 离散事件仿真; Arena; 就餐过程; 满意度模糊模型

中图分类号: P391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2850(2010)04-0750-6

Modeling and simulation of dining process in restaurant based on Arena

ZHOU Yun, LU Xiaojun

(College of Information System and Management, National University of Defense Technology, Changsha 410072, China)

Abstract: Based on discrete event simulation method, this paper took an in-depth study on dining process in restaurant, and established serving model, dining style model, and consumers' satisfaction fuzzy model in the dining process. This paper coupled with a practical case, and simulated the dining process of a small restaurant with Arena. With the simulation results, this dining process was evaluated, and the main factor that affected consumers' satisfaction most was found. And then, this paper suggested the way to bring down the wait time and restaurant spending, which could be applied to practice and referred by the manager of restaurant.

Key words: systems modeling; discrete event simulation; Arena; dining process; satisfaction fuzzy model

0 引言

离散事件系统很难用数学方程描述。在食堂就餐过程中, 就餐人员的需求是在离散不确定时间点上发生的, 食堂就餐过程实际系统属于离散事件系统。因此, 可以把实际系统转换为仿真模型, 通过运行仿真模型, 评价实际系统的优劣。这样可以为食堂管理者的管理活动提供参考, 具有很重要的实际意义。

Arena 是美国 System Modeling 公司于 1993 年开始研制开发的新一代可视化通用交互集成模拟环境, 其兼备高级模拟器易用性和专用模拟语言柔性的优点^[1~3], 被广泛应用于离散事件系统仿真中。在 2005 年的美国冬季仿真会议中, 有 45% 的应用基于 Arena 软件。MEJIA 等^[4]基于 Arena 实现了时间着色 Petri 网模型, BATAINEH 等^[5]应用 Arena 对现有的公共汽车运输系统进行了建模和仿真, 并提出了改进系统的方案, 方绍强等^[6]提出了基于 Arena 软件的飞机保障过程仿真并进行了相关实验。另外, Arena 软件还被广泛应用于供应链、物流、仓库存储等离散事件系统仿真中^[7]。

基于离散事件的建模理论和 Arena 软件, 对食堂就餐过程中的对象进行了分析并建立了相应模型,

作者简介: 周鑫 (1987—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 离散事件仿真

通信联系人: 卢晓军, 讲师, 主要研究方向: 离散事件仿真。E-mail: lu8new@163.com

建立就餐人员满意度模糊模型用于对就餐过程进行评价，然后以小型食堂的就餐过程为例，对仿真结果进行了评价分析，以确定此模型是否合理，最后针对该实例提出了优化方案供管理者决策。

1 食堂就餐过程描述与分析

食堂就餐过程是指为了满足就餐人员的需求，提供就餐服务的过程，用 IDEF0 图描述如图 1 所示。其中，就餐人员到达为就餐人员到达食堂，等待服务；服务资源为提供就餐服务的资源，这里主要有两类，硬件资源（餐桌）和软件资源（工作人员）；服务条件、规则为服务触发的条件，服务过程中遵循的排队规则；就餐服务为在服务资源满足的情况下，按照一般的就餐规律实施就餐活动；离开为就餐完毕后，所占用的服务资源被释放，以便对其他等待服务的就餐人员实施保障。

图 2 为使用 Arena 软件，用图形化方式描述的就餐过程。就餐人员到达食堂后，在服务资源满足的条件下接受就餐服务，服务完毕后离开食堂，从而空出其占用的服务资源。

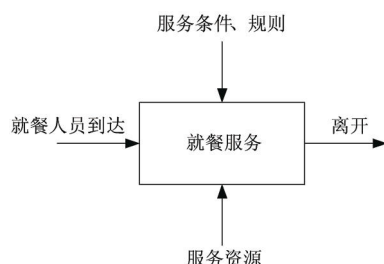


图 1 食堂就餐过程描述图
Fig.1 Description of dining process

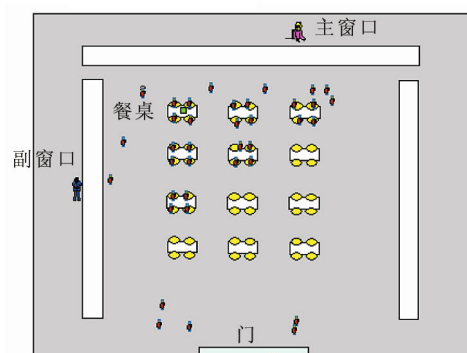


图 2 使用 Arena 软件构建的食堂就餐过程图
Fig.2 Demonstration of dining process with Arena

食堂就餐过程包括以下对象：

实体（entity）：等待服务的就餐人员，包括人员的数量、属性；

资源（resource）：提供就餐服务的资源，包括餐桌、工作人员；

判断（decide）：就餐人员选择就餐方式的行为，例如就餐人员在购买窗口获得服务后，可以选择是否需要餐桌提供服务；

服务活动（active）：资源对就餐人员提供具体服务的过程，它的开始和结束由事件引起；

服务条件（C）：包括资源条件、统计结果限制条件等；

服务规则（R）：资源提供服务所遵循的规则；

到达（arrive）：需要就餐的人员进入系统；

记录（record）：记录就餐过程中的相应数据，如等待时间、服务时间、资源利用率等；

这里利用统一建模语言（unified modeling language, UML）建模方法中的协作图描述对象间的关系，如图 3 所示。当需要服务的就餐人员（entity）到达时，产生服务判断（decide），从而获得服务活动（active），食堂根据服务条件（C）以及服务规则（R），使用相应的资源（resource），单个服务活动完毕释放服务资源，使其可用于其他的 service 活动。当全部 service 活动执行完毕，记录（record）服务活动中产生的数据。

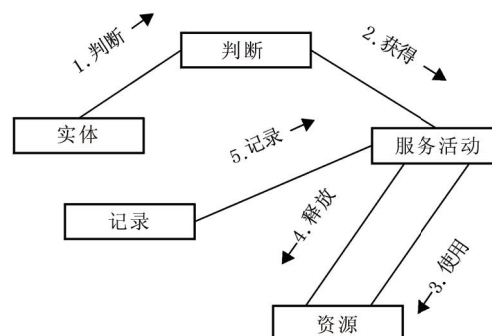


图 3 就餐过程中对象间的协作图
Fig.3 Collaboration diagram between objects in dining process

2 食堂就餐过程数学模型

2.1 服务活动模型

在就餐过程中, 食堂提供的服务活动是核心, 因此必须首先建立一般的服务活动模型。根据不同食堂的具体情况, 就餐人员 entity_i 的就餐过程可以包括多个服务活动, 这里设其第 j 个服务活动 active_{ij} 可用六元组表示:

$$\text{active}_{ij} = \langle f, \text{in}, \text{out}, \text{restriction}, \text{status}, c \rangle, \quad (1)$$

其中, in 为输入集, 由需要服务的实体、资源类型和数量组成; out 为输出集, 由记录的统计信息组成; f 为状态转移函数, 由 $f: \text{in} \rightarrow \text{out}$; restriction 为对服务活动的约束, 由系统的实际情况决定; $\text{status} = \{e, w\}$ 为服务活动的状态, 包括服务活动执行态 (execution) 和等待态 (wait); c 为服务活动的开始条件。

$$c = c_{\text{in}} \wedge c_r \wedge c_s. \quad (2)$$

式 (2) 说明, 只有在输入的资源条件 c_{in} , 约束条件 c_r , 状态有效性条件 c_s 都满足后, 服务活动的开始条件才会满足。

2.2 就餐方式模型

就餐过程存在很大的不确定性和随机性, 导致就餐方式的多样化。例如就餐人员在获得餐点后, 可以继续选择食堂的餐桌服务, 也可以直接离开食堂。因此, 这里需要建立就餐方式模型, 可以表示为三元组:

$$M = \{D, RS, P_d\}, \quad (3)$$

其中, D 为基于经验的就餐方式决策行为; RS 为决策行为的约束; P_d 为相应决策的概率。

2.3 就餐人员满意度模糊模型

设等待时间所在的论域 $X = [0, +\infty)$, 模糊子集 \underline{A} 表示“就餐人员满意”, 由于就餐人员的等待时间越小, 其满意度越高, 这里采用偏小型岭形模糊分布^[8]描述 \underline{A} 的模糊现象, 其隶属度函数可以表示为

$$\underline{A}(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a_1; \\ \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_2 - a_1} \left(x - \frac{a_1 + a_2}{2} \right), & a_1 < x \leq a_2; \\ 0, & x > a_2, \end{cases} \quad (4)$$

其中, x 为就餐人员的等待时间; $a_1=0.75$ 和 $a_2=1$ 为岭形分布的控制参数。

3 仿真实例

以某小型食堂为例, 为大约 100 名就餐人员提供就餐服务, 其中, 工作人员 3 人 (主窗口 2 人, 副窗口 1 人), 餐桌 24 张。其中, 主窗口工作人员 res_1 完成一次服务的时间服从参数为 (0.25, 0.5, 0.8) min 的三角分布, 即 $\text{Tria} (0.25, 0.5, 0.8)$; 副窗口工作人员 res_2 完成一次服务的时间服从分布 $\text{Tria} (0.2, 0.4, 0.7)$; 餐桌 res_3 完成一次服务的时间 (即人员就餐时间) 服从分布 $\text{Tria} (10, 15, 20)$ 。就餐人员只在一个窗口购买餐点, 然后决定是否需要在餐桌上就餐。

就餐人员的到达时间间隔 T_a 服从参数为 0.5 min 的负指数分布:

$$P(T_a \leq t) = 1 - e^{-0.5t}. \quad (5)$$

食堂运营的月成本 Z 与工作人员、餐桌的数量相关, 包括工作人员的工资 1 200 元/月, 餐桌的维护费用 50 元/月, 以及其他费用 d 。

$$Z = 1\,200(\text{res}_1 + \text{res}_2) + 50\text{res}_3 + d. \quad (6)$$

3.1 就餐过程模型

这里以第 i 个就餐人员的主窗口服务活动 active_{i1} 为例:

$$\text{active}_{i1} = \langle f, \text{in}, \text{out}, \text{restriction}, \text{status}, c \rangle,$$

其中, 输入集 $\text{in} = \{\text{entity}_i, \text{res}_1, 2\}$, 输出集 $\text{out} = \{\text{Wtime}, \text{VAtime}, \text{util}\}$, 包括等待时间、服务时间和资源利用率; f 为状态转移函数 $f: \text{in} \rightarrow \text{out}$; $\text{restriction} = (\text{entity}_i \& \& \overline{\text{active}_{i2}})$ 为对服务活动的约束, 这里表示 entity_i 未接受过副窗口服务活动 active_{i2} ; $\text{status} = \{e, w\}$ 为服务活动的状态, 包括服务活动执行态 (execution) 和等待态 (wait); c 为服务活动的开始条件, 这里是主窗口资源空闲且服务活动满足约束。

3.2 就餐方式模型

根据实例特点, 由式 (3) 有: $M = \{\{D_1, D_2\}, D_1 \rightarrow D_2, \{P_1, P_2\}\}$, 其中, $\{D_1, D_2\}$ 为决策集; D_1 为就餐人员在到达餐厅后选择主窗口服务或副窗口服务的决策行为; D_2 为就餐人员在获得餐点后, 选择餐桌服务或离开的决策行为; $D_1 \rightarrow D_2$ 为 D_1 是 D_2 发生的前条件; $\{P_1, P_2\}$ 为决策概率集。

3.3 就餐过程仿真

这里利用仿真软件 Arena 对就餐过程进行结构建模和数量建模, 仿真模型由 4 个模块组成: 实体进入模块 (entering)、人员服务模块 (human serving)、餐桌服务模块 (table serving)、离开模块 (exiting), 如图 4 所示。

其中, 实体进入模块的作用是产生就餐人员实体, 并转入人员服务模块; 人员服务模块中包括主窗口服务和副窗口服务两个服务活动, 实体根据就餐方式模型, 择其一接受服务, 并决定是否继续接受餐桌服务, 如图 5 所示; 餐桌服务模块的作用是提供餐桌服务后转入离开模块; 离开模块记录实体在就餐过程中的平均等待时间, 以及各资源的利用率。

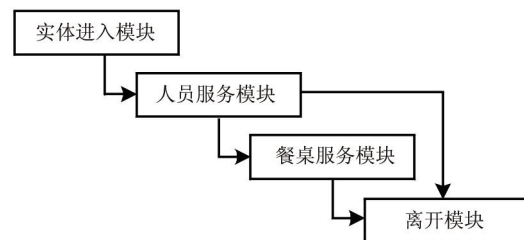


图 4 仿真模型模块图

Fig. 4 The module diagram of simulation model

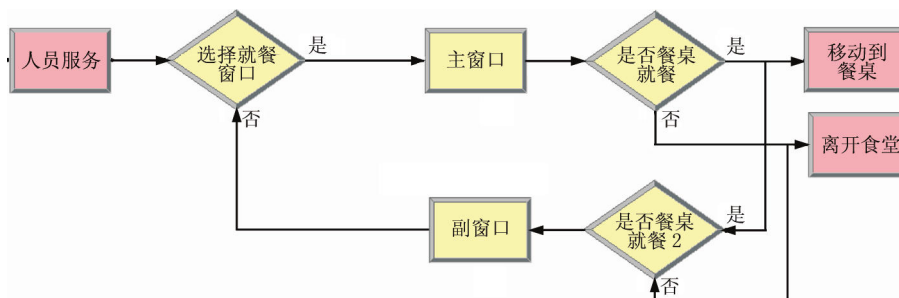


图 5 人员服务模块的 Arena 建模图

Fig. 5 The human serving model in Arena

3.4 仿真结果分析

设置仿真重复次数为 100 次, 仿真时长 60 min, 得到每个实体平均的服务时间、等待时间, 如表 1 所示。

表 1 平均服务时间和等待时间表
Tab. 1 VA time and wait time

输出结果	平均值/min	半宽/min	最小平均值/min	最大平均值/min	最小值/min	最大值/min
服务时间	11.737 6	0.14	9.859 4	13.478 4	0.206 0	20.395 3
等待时间	0.937 9	0.16	0.032 9	4.020 9	0	13.066 4

主窗口资源、副窗口资源、餐桌资源的利用率如表 2 所示。

由式 (4) 可得 $\hat{A}(0.939\ 5) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{a_2 - a_1} (0.939\ 5 - \frac{a_1 + a_2}{2}) = 0.137\ 7$, 同理有 $\hat{A}(0.936\ 3) = 0.151\ 8$.

上述结果表明: 由于等待时间过长, 95.0% 的就餐人员对就餐过程的满意程度在 0.151 8~0.137 7 之间, 满意度极低; 其次主窗口资源的利用率只有 30.6%, 可以考虑减少工作人员数量; 另外由于餐桌资源的利用率过高, 反映了餐桌空闲的时间很少, 可以考虑增加餐桌数量。

3.5 多备选方案评价

这里定义资源组 (res₁, res₂, res₃) 为主窗口工作人员、副窗口工作人员以及餐桌的数量; 资源利用率组 (util₁, util₂, util₃) 为资源组中各资源的利用率。使用 Arena 自带的过程分析器, 通过改变工作人员数量, 以及餐桌数量做进一步的仿真分析, 得到仿真结果如表 3 所示。

表 3 多备选方案仿真结果数据表
Tab. 3 The simulation results of several solutions

资源组	平均服务时间/min	平均等待时间/min	资源利用率组/%
(2, 1, 24)	11.737 6	0.937 9	(30.6, 33.7, 76.6)
(1, 1, 24)	11.673 6	1.037 5	(60.3, 33.3, 75.4)
(1, 1, 25)	11.713 9	0.907 5	(60.6, 33.5, 73.8)
(1, 1, 26)	11.754 5	0.766 2	(60.9, 33.1, 71.9)
(1, 1, 27)	11.780 1	0.642 4	(60.1, 33.8, 70.0)
(1, 1, 28)	11.856 9	0.502 2	(59.9, 33.3, 68.0)
(1, 1, 29)	11.790 3	0.439 1	(60.4, 33.2, 65.8)
(1, 1, 30)	11.843 9	0.407 1	(60.6, 33.5, 64.4)

利用表 3 的结果和式 (4) 可以发现, 在工作人员数量一定的情况下, 餐桌数量的增加导致就餐人员满意度提高, 如图 6 所示。

由图 6 可以看出: 在资源组为 (1, 1, 26) 时, 就餐人员满意度达到了 0.989 7, 此时资源利用率也得到了改善, 利用成本公式 (6) 可以发现食堂的月运行成本减少了 1 100 元。

4 结论

针对仿真实例, 发现影响就餐人员满意度的主要因素是餐桌数量。另外, 在主窗口、副窗口工作人员各 1 名, 餐桌数量为 26 个的条件下, 就餐人员达到较高的满意度, 并且大幅减少了食堂的月运行成本。这说明了所建立的就餐过程模型具有一定的实际意义, 可以用于食堂管理的辅助决策。另外在进一步的工作中, 可以描述就餐人员更复杂的就餐方式, 使得仿真模型更贴近实际系统。

表 2 各项资源数量及利用率表
Tab. 2 Quantity and utilization factor of every resource

资源	数量/个	利用率/%
res ₁	2	30.6
res ₂	1	33.7
res ₃	24	76.6

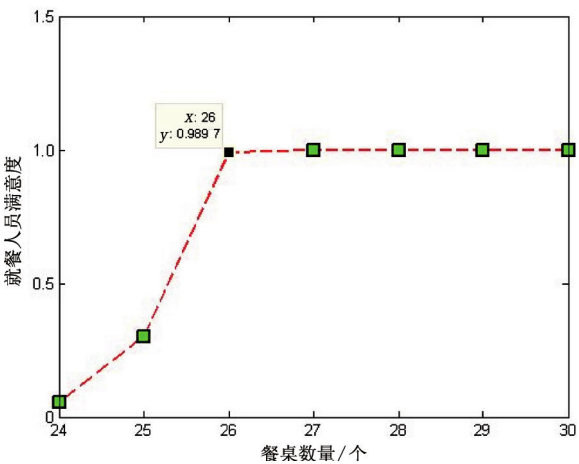


图 6 满意度随餐桌数量变化图
Fig. 6 Satisfaction vary with the number of dining-table

[参考文献] (References)

- [1] Rockwell Software. Arena user's guide[M]. USA: Rockwell Software Inc., 2005.
- [2] KEHON W D, SADOWSKI R P, STURROCK D T. Simulation with Arena[M]. New York: McGraw-Hill, 2003.
- [3] SADOWSKI D, BAPAT V. The Arena product family: enterprise modeling solutions[A]. 1999 Winter Simulation Conference Proceedings (WSC)[C]. USA: IEEE, 1999. 159~166.
- [4] MEJIA G, MARTINEZ D, TORRES F. Modeling and development of an arena interface for petri nets[A]. Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference[C]. USA: IEEE, 2008. 1368~1375.
- [5] BATAINEH O M, ABDULLA H H, ABU-SAIF A J. Development and application of a metaheuristic optimization procedure integrated with simulation for a bus transit system[A]. 2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management[C]. USA: IEEE, 2008. 1749~1753.
- [6] 方绍强, 卫克, 陈伟鹏, 等. 基于 ARENA 的场站飞行保障过程建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2008, 20 (3): 746~750.
FANG S Q, WEI K, CHEN W P, et al. Modeling and simulation of flight support process of airfield station based on Arena[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(3): 746~750. (in Chinese)
- [7] 赵璐, 金淳, 于越. 可视化交互仿真软件 Arena 的最新进展[J]. 系统仿真技术, 2006, 2 (3): 176~181.
ZHAO L, JIN C, YU Y. The latest development of visual interactive simulation software Arena[J]. System Simulation Technology, 2006, 2(3): 176~181. (in Chinese)
- [8] 梁保松, 曹殿立. 模糊数学及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
LIANG B S, CAO D L. Fuzzy mathematics and its applications[M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese)