

摘 要

目前, 各行各业的竞争越来越激烈, 无论在偏僻或者发达的地区都能看到各种企业的存在, 企业努力地向顾客展示自己的形象。由于各个企业之间同类产品的外观、质量、价格等差异不大, 因此必须通过促销活动来相互竞争, 并为顾客提供良好的服务。

超市也是竞争非常激烈的企业之一, 因为无论于偏僻之地或者城区都有着数量繁多的超市, 所以各个超市必须提高自己的竞争力。无论是商品质量或者服务水平, 都会影响顾客的选购。超市的服务多种多样, 如导购服务、积分服务、收银台结算服务等, 其中最明显的服务是收银台结算服务, 顾客需要排队等待结算, 因为超市收银台结算等待时间的长短是影响顾客是否决定选购商品的因素, 而有的顾客无法接受。如果收银台前等待服务的排队时间太长, 导致顾客必须久等, 顾客可能放弃结算而离开排队列队, 从而造成损失。

为了解决等待时间的问题, 有许多种解决方案, 但是明显可以看到系统中的存在问题就是仿真方法。Arena Rockwell 仿真软件是个常用的仿真软件, 这个软件具有许多适合物流仿真的功能且所得的结果非常明显。因此, 本文将以Arena Rockwell 仿真软件为研究工具, 研究兰州交通大学正门对面的大超市——华联超市的收银台服务系统排队等待接受结算服务的队列, 寻找最合理的收银台开通数量, 以便减少收银台排队等待接受服务的时间, 为顾客提供最好的服务。

本文应用Arena Rockwell仿真软件为研究工具。首先, 本文将运用Arena Rockwell 仿真软件中的Input Analyzer或数据分析器分析顾客到达数据。在此, 笔者将着重研究3个主要时段, 经过调研取得了不同的数据, 从而建立了大型超市的模型。本文应用兰州交通大学对面的华联超市为实例, 于本文的最后应用Arena Rockwell仿真软件中的Optquest寻找最优解。

由于该华联超市的主要客流为我校师生, 所以根据学校上下课时间来划分, 下课高峰时段人比较多, 上课非高峰时段人较少。因此, 当开放了的收银台数量不合理, 则不能容纳客流, 使在收银台等待接受服务的时间增长, 影响顾客满意度与超市的效益。

模型建立之后, 可以发现, 各个时段开放的收银台数量不合理, 影响了收银台服务的时间及排队等待时间。此外, 单从服务时间来看, 可以发现顾客排队等待接受服务时间仍很长。本文还应用Optquest寻找最优解, 可以减少总平均等待时间为12.66%。

关键词：排队系统；等待时间；满意度；Arena Rockwell

论文类型：应用研究

Abstract

Recently, the competition of each industries is becoming more and more fierce, especially in enterprises which are located in suburb or urban or the enterprises that can be easily seen when we turn around, so that enterprises will try to create their own organization impressions for customers, because each there is no difference in the appearance, quality, and price of products. They must fight through promotional activities, and create impressions to provide good services to customers.

Supermarket industry is also one of the most fiercely competitive industries because there are many supermarkets everywhere in the country or in the city, each supermarket must improve its performance whether it is the quality of goods or the level of service, it affects the purchase decision of customers. There are many types of services in the supermarket, such as shopping guide service, point service, cashier service, etc. The most obvious service is the checkout service, here customer has to wait in line to receive services because of the length of the checkout time of the supermarket checkout. Whether the customer decides to purchase the product, if some customers can't accept that if the queue waiting for the service before the checkout is too long, and the customer has to wait too long, these customers may give up and leave the queuing system, and customer losing will appear.

This paper used Arena Rockwell simulation as a tool for study. We used Hua Lian supermarket, which is opposite to Lanzhou Jiaotong University, as a case study, we mainly surveyed and analyzed the customer arrival time and cashier service time. This paper used Arena Rockwell simulation program's Input Analyzer analyzed customer's arrival time. Supermarket operation time is divided to be 3 period times but the survey is divided to be 6 period times. After that, we simulated this supermarket model finding the causes of problem and used Arena Rockwell simulation program's Optquest in order to find the best and the most reasonable result.

According to model result, we found that the amount of opened-counters in each period times is irrational, this affects to customer waiting time and cashier counter service. Therefore, this paper will reduce total waiting time by simulation and revise the amount of opened-counters in each period times suitably. After using Optquest, we found the best solution which can reduce total waiting time around 12.66%.

Key Words: Queuing System; Waiting Time; Customer Satisfaction; Arena Rockwell

兰州交通大学硕士学位论文

目 录

摘 要	I
Abstract	II
1 绪论	1
1.1 论文研究背景及意义	1
1.1.1 论文研究的背景	1
1.1.2 论文目的及意义	2
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 排队理论研究现状	2
1.2.2 等待时间与满意度研究现状	3
1.2.3 仿真工具研究方向	5
1.2.4 Arena 仿真工具研究现状	5
1.3 论文主要研究内容	6
1.4 论文主要技术路线	6
2 超市现状及研究方法	7
2.1 超市行业	7
2.1.1 超市行业发展现状分析	7
2.1.2 超市行业未来趋势分析	8
2.2 排队系统	9
2.2.1 排队过程的基本要素	10
2.2.2 排队过程的基本术语	10
2.2.3 Kendall 符号	12
2.2.4 M/G/1:FIFO/o 模型	13
2.2.5 M/M/s模型	14
2.2.6 统计分析	15
2.3 Arena Rockwell	16
2.3.1 Arena 的定义及意义	17

2.3.2 流程图模块	18
2.4 本章小结	21
3 超市收银台排队系统实例分析.....	2
3.1 超市排队系统实例分析	22
3.2 超市收银台服务系统模型假设	22

基于Arena的大型超市排队系统仿真研究

3.3 顾客到达分布研究 23

3.4 服务时间分析研究 24

 3.4.1 实际数据整理分析 24

 3.4.2 拟合度检验 25

 3.4.3 顾客能接受的最长等待队长调查 26

3.5 本章小结 27

4 超市收银台排队系统仿真优化 28

 4.1 华联超市收银台排队系统模型 28

 4.2 建模过程 29

 4.3 进行设置 37

 4.3 本章小结 38

5 超市收银台排队系统仿真结果及分析 39

 5.1 超市收银台排队系统仿真结果与分析 39

 5.2 调整模型后的结果 40

 5.3 本章小结 43

6 结论及展望 4

 6.1 结论 44

 6.2 展望 4

致 谢 45

参 考 文 献 46

攻读学位期间的研究成果 48

1 绪论

1.1 论文研究背景及意义

1.1.1 论文研究背景

目前，世界正在全面发展，尤其是技术与教育方面。这些发展变化影响了人们的生活，使人们的生活变得更加方便与快捷，所以各个行业必须提高自己的产品质量和服务水平以满足顾客的需求，使企业自身得到最好的经营效果并提升顾客的满意度，反之企业不但不能达到营销目的，出现顾客流失，对企业造成很大的影响。

超市是竞争非常激烈的企业之一，因为无论是偏僻之地或者繁华的城内都有许多超市，所以各个超市必须提高自己的竞争力。无论是商品质量或者服务水平，都影响顾客的选购决定。

超市的服务多种多样，如：导购服务、积分服务、收银台结算服务等，其中最明显的服务是收银台结算服务，顾客需要排队等待接受服务，因为超市收银台结算等待时间的长短影响顾客是否决定选购商品[1]，如果收银台前等待接受服务的排队队列长度太长，顾客必须久等，则有的顾客不能接受。这些顾客可能放弃结算而离开排队系统，造成顾客流失。

超市收银台的管理主要依靠收银台服务时间和收银台数量等要素。收银台服务时间长短取决于顾客选购的商品数量，如果顾客选购的商品数量较多，服务时间则较长，相反，服务时间则较短。除了顾客选购的商品数量以外，仍包含其他原因，即收银台也许需要兑换零钱，所以未来兑换这些零钱有时候必要找领班，有时候不能及时兑换则导致收银台服务时间拉得更长。另外一个要素是收银台数量，某个超市顾客比较多，可能是为了减少成本或者是管理不当，造成收银台开通数量不足，因而出现损失；同时也会有某个超市顾客很少，但是收银台开通数量过剩。以上原因将影响企业的形象与顾客满意度。因此，超市应该重视这些问题，为了避免顾客流失问题的产生与满意度的减少，而设置合理的服务时间与收银台数量。

为了解决等待时间的问题，有许多种解决方案，但是明显可以看到系统中的存在问题就是仿真方法。Arena Rockwell 仿真软件是个常用的仿真软件，这个软件具有许多适合物流仿真的功能且所得的结果非常明显。因此，本文将以Arena Rockwell 仿真软件为研究工具，研究兰州交通大学正门对面的大超市——华联超市的收银台服务系统排队等

待接受结算服务的队列，寻找最合理的收银台开通数量，以便减少收银台排队等待接受服务的时间，为顾客提供最好的服务。

由于该华联超市的主要客流为我校师生，所以根据学校上下课时间来划分，下课高峰时段人比较多，上课非高峰时段人较少。因此，当开放了的收银台数量不合理，则不能容纳客流，使在收银台等待接受服务的时间增长，影响顾客满意度与超市的效益。

1.1.2 论文目的及意义

为了减少顾客等待接受服务的时间并提高超市效益，本文将对每个营业时段的收银台数目进行合理化分析。运用Arena Rockwell仿真软件对超市收银台等待接受服务的排队队列进行仿真模拟，以便减少收银台的服务时间并计算出开通收银台的合理数量。通过Arena Rockwell Software仿真工具，能体现系统存在的问题，使用收银台的服务时间与当时开放的收银台数目进行对比，根据模拟得到最佳的分析结果。因此，采用该工具的客户可以轻易地找到系统中的现实问题。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 排队理论研究现状

Moshe Haviv[2],确定的平均等待时间与泊松分布和相对优先级的单一服务器多级排队模型，如果服务器变为空闲，则下一个作业来自I类的概率与存在的I类作业数和它们的优先级参数之间的乘积成比例。Nico M. van Dijk³],延迟和排队问题是最常见的特点，不仅在日常生活中如银行或邮局、票务办公室、公共交通或交通拥堵，还有更多的技术环境如制造业、计算机网络和电信，然而实际上，它们在行政物流等业务流程再造中起着至关重要的作用。Refael Hassina[4]考虑了一个具有两类客户的无记忆单服务器队列，每个客户都有固定的入门费，表明利润和社会福利会受益于基于相对优先级的服务学科。Edya Ladan-Mozes¹和 Nir Shavit[5]先进先出(FIFO)队列是最基本和高度研究的并发数据结构，文献中最有效和最实用的动态内存并发队列实现是Michael和Scott的无锁FIFO队列算法，包含在标准Java™ Concurrency Package中，介绍了一种新的动态内存无锁FIFO队列算法，该算法的性能始终优于Michael和Scott队列，新算法背后的关键思想是一种新的方法来替换迈克尔和斯科特的单链表，其中的指针是使用昂贵的比较和交换(CAS)操作插入的，是一个“乐观的”双链表，使用简单的存储更新指针，但如果事件的错误排序导致它们不一致，则可以“修复”。相信这是应用于现实世界数据结构的这种“乐观”方法的第一个例子，考虑一个离线时间排队系统，该系统具有线头非抢先优先级调度和服务器中断的单个服务器，通过相关马尔可夫开或关过程对服务器中断进行建模，其中几何分布的开启和关闭周期，也考虑两类流量，即高优先级和低

优先级流量，在第一部分，推导出描述该优先级排队系统的瞬态演化的函数方程的表达式，然后操纵该函数方程并将其转换为数学易处理的形式。这允许我们导出系统内容的

联合概率生成函数 (pgf)。从这个 pgf, 可以导出各种性能度量的闭合表达式, 例如系统内容的均值和方差以及客户延迟。最后, 我们用一些数值例子说明了我们的解决方案技术, 从而证明了中断过程中的相关性对两个类的性能的负面影响。还给出了一些数值结果, 说明了到达过程的二阶特征对平均延迟的影响。纯粹基于 pgfs 的提议方法完全是分析并且不仅可以推导出稳态但瞬态性能测量。对服务中断的离散时间队列的性能分析提出了新的见解, 并且还将一些以前发布的结果作为特例进行。M.E.El-Naggar⁶ 介绍了一种旨在通过开发海港基础设施来满足未来需求来支持决策过程的方法, 为了确定海港泊位的最佳数量, 排队理论应用于港口设施和活动, 目的是避免无意中过度和不足, 在这种方法中, 首先应该分析港口的运动, 根据所考虑的排队模型计算港口外和船队外的船舶的等待时间, 确定表示实际船舶到达和服务时间分布的理论函数, 出于经济考虑, 进行成本估算研究, 包括港口和等候船的成本。最后, 可以确定最小化总港口成本的最佳泊位数, 提出的数学和经济模型都适用于埃及的亚历山大港。S.Yeshwant Raj,K. Kartheel⁷等, 利用时间研究和排队理论为现有方法开发一种替代方法, 在结果的帮助下, 提出了一种新的方法来提高生产力, 快速购物, 该提案旨在对计费流程进行部门划分, 并植入智能计费概念, 例如本地化的自发计费柜台或定制手推车, 以对产品进行计费。这项新研究可以节省排队和计费流程的时间, 该推车采用 CREO 2.0 软件设计, 借助无线传感设备实现智能化, 随着条形码扫描仪等无线传感设备的迅速发展, 这种应用可以扩展到消费市场, 例如超市, 手动计费过程变得繁琐, 同时又浪费大量的时间和劳动力。

1.2.2 等待时间与顾客满意度研究现状

客户经常需要等待产品和服务的交付, 从经济和心理的角度来看, 等待往往是一种消极的体验, 它涉及经济成本, 因为在等待期间, 客户会花费稀缺的资源: 时间。这种感知到的时间损失转化为心理成本, 并在典型的等待体验中导致压力和焦虑。因此, 等待体验的性质是决定客户对公司整体满意度的重要方面。

几家公司为管理客户的等待时间而采取的另一项重要举措是等待时间保证。等待时间保证(简称时间保证)是公司对其客户的承诺, 即它将在指定的时间段内交付产品或服务。如果公司未能在保证时间内交货, 则会对客户的延迟进行补偿。

滕丽, 刘长兴[8]通过客户机和服务器之间模式设计的 Winsock 协议, 减少了体检部门的等待时间, 发现排队管理系统减少了等待时间, 而且它还可以提高客户满意度。

岳坤宁[9]提出了餐饮企业的等待时间与客户的满意度的关系，此餐饮企业不能满足越来越高的客户要求，使等待时间越长，建议提高服务员的服务质量，而且提供多样的等待区，最后可以增加客户的满意度。

肖梅丹[10]研究了XP 医院的过程管理如何影响客户的满意度，可发现，在调查中，

客户最不满意的能影响满意度的因素是在队列中的等待时间，应用IE 分析软件减少不需要的过程，而且同时提高客户满意度，此外，运用排队理论以及仿真软件模拟医院模型以降低等待时间。

J.D.Pratten[11]寻求调查客户期望的服务以及等待员工如何帮助满足这些期望，可以发现，必须强调等待员工在客户满意度过程中的作用，除非这被承认并采取行动，否则公司可能会失去业务。

Wonjae Lee, Carolyn U. Lambert[12]评估了等待时间对服务质量和客户满意度的影响。在东北大学的一家自助餐厅将这些调查问卷分发给客户，用以调研服务质量，客户满意度，预期合理的等待时间和感知等待时间，收集到达率和服务时间以模拟实际等待时间，结果表明，当客户预期的合理等待时间长于感知等待时间时，预期合理等待时间与感知等待时间之间的差异会影响服务质量和客户满意度，而且模拟实际等待时间与客户对服务质量的感知之间存在负相关关系。

Frédéric Bielen, Nathalie Demoulin[13]调查了客户如何衡量他们的服务满意度和等待时间满意度，以确定他们是否会保持忠诚，比利时医疗保健行业进行了一项调查，最终样本包括946名受访者，进行了回归分析，用于测试调节者对变量的影响，结果证实，等待时间满意度不仅是服务满意度的决定因素，而且还缓和了满意度和忠诚度关系。此外，顾客等待时间满意度的决定因素包括感知的等待时间，对延迟情况下提供的信息的满意度以及对等待环境的满意度，此外，显示等待时间满意度是感知等待时间和服务满意度链接中的完整中介变量。

Mustafa[14]探讨了性别对等待时间，感知和满意度之间关系的调节作用，使用回归建模，分析从阿拉伯联合酋长国医院收集的调查数据，调查结果证实，等待时间会影响服务质量的感知和满意度，结果还表明，等待时间以不同的方式影响男性和女性患者的感知和满意度。

Iulian Beloiu, Gergely Szekely[15]研究文学和工业的影响，并访问九个主题公园，以观察他们的运作，模拟结果与预期一致，虚拟排队系统的性能优于标准排队系统，创新的推送系统在客户满意度方面提供了三个最佳性能。

Marian Hill, Lorianne Classen[16]为了改善患者体验，开发了一个框架来检查患者满意度，作为期望，感知和现实的函数，过程域专注于手术前时间的客观现实，而期望和感知领域集中于家庭对手术前和手术过程的及时性的理解，在该框架的指导

下，在整个德克萨斯儿童医院系统的外科手术室收集和分析数据，从这一分析中获得的见解确定了可以实施重点改进方法的不同需求，将深入介绍所开发的框架，案例研究，说明其有效性以及如何在任何医疗保健组织应用以提高患者满意度的见解。

1.2.3 仿真工具研究方向

目前, 全球的科技发展迅速, 在人们的生活中, 科技也是人们生活的一部分, 例如: 手机、电脑、电器等, 这些电器的产生让生活更加便利, 而且以至于做生意的人或者大企业也需要科技工具来完善与发展自己的企业。还有管理系统工具, 例如: 仓储管理软件(WMS), 企业资源计划(ERP)等, 仿真软件Matlab、C++、WISNESS、Flexsim 等是有助于解决企业管理中存在的问题, 因为有仿真模型的功能, 所以很容易找到瓶颈点。

蔡金凤[17], 提出了概率分析、泊松过程、马尔可夫过程和统计检验以及排队论, 然后按照哈尔滨某超市收银台排队系统建立了优化模型, 通过C++ 软件, 分析数据后, 不仅能增加顾客的满意度还能降低超市的服务成本。奚卫宇[18], 提出了顾客的满意度与超市收银台为顾客服务的等待时间的关系, 采用沈阳市乐购大型超市仿真实例模型以便提高顾客的满意度与超市的效益并降低超市的服务成本。运用WITNESS 仿真软件与排队论仿真模型, 最后找到了存在的问题, 使决策者能够提出一些优化的决策方案。薛春荣[19], 运用Matlab 软件模拟运算超市排队系统并对比分析, 该模型能减少成本, 而且增加客户的满意度。李森彪, 邢文杰[20], 提出了大型超市的快速通道双排队系统是否优于单排队通过排队理论。最后, 可以证明双排队更优, 能减少一些等待时间。冯慧芳[21], 通过C 语言模拟大型超市模型, 能改变排队系统与合理配置服务员, 可以提高服务效率、客流量。郑欢, 古福文[22], 证明了模型能否提高工作效率, 通过利用排队理论方法与Matlab 模拟该模型, 最后表明, 该方法不仅仅能提高工作效率, 而且能降低经营成本。王军[23], 设计了一种超市排队收银系统模型, 通过C++ 语言模拟该模型, 最后减少了排队时间。

本文选择Arena Rockwell仿真软件为研究工具模拟独特的大型超市收银台排队系统以及减少等待排队时间及队长。

1.2.4 Arena Rockwell

邓红梅, 严, 良等[24], 提出了大型超市收银台开放数目和顾客流失率问题, 通过采用Arena Rockwell Software与带精英策略的非支配排序遗传算法可以减少的顾客流失率为1.87%, 同时能改进收银台开放数目幅度为138.5%。陈潇[25], 采用Arena Rockwell 软件模拟一家超市排队系统模型, 该超市顾客的所能忍耐的排队长度为6人, 如果排队队列超过6人, 顾客将放弃购买而直接离开超市系统, 所以目标是现状模型是否合理, 排队队列分为两种, 一种是有超市分卡的顾客, 二种是没有办卡的顾客。为了减少排队长

度与排队等待时间以及损失顾客率，模拟了排队系统模型，之后，能发现该模型是比较合理的。Nurul Nazihah Hawari[26],发展了超市排队模型，为了分析影响顾客满意度的服

务表现运用离散事件仿真，能发现该模型与系统的平均时间、总顾客数量、排队队列中的顾客数量、排队时间以及顾客能接受最长的排队长度。通过Arena Rockwell软件建立模型可发现，该超市从早上10点至晚上10点的营业时间仅有一个收银台为顾客服务，使服务时间或排队时间较长。因此，为了减少服务时间或排队时间以及提高顾客满意度，建议分成两个班，早上的班有两个收银台为顾客服务，下午的班有一个收银台为顾客服务。Nur Atirahbinti Abit[27],提出了排队队列中等待时间与顾客满意度的关系，运用Arena Rockwell Software建立Kuantan 城里的一家超市收银台排队系统的模型，该模型研究整体收银台排队系统，能提高的收银台排队效率为30%。

1.3 论文主要研究内容

本文将分成六章：

第1章：介绍论文研究背景及意义、本文研究目的、研究工具。

第2章：介绍超市行业发展现状及分析，超市服务流程、服务系统、排队系统，等待时间与顾客满意度，仿真软件，Arena Rockwell Simulation软件。

第3章：超市收银台服务系统实例及分析，收银台服务系统，顾客到达分布及分析，服务时间分布及分析，顾客能接受的最长等待队长调查及分析。

第4章：收银服务系统仿真优化，运用Arena 仿真软件模拟华联超市收银台服务系统模型，介绍了建模过程及进行模型设置。

第5章：分析结果及对比超市现状与仿真模型的结果，

第6章：论文结论与展望。

1.4 论文主要技术路线

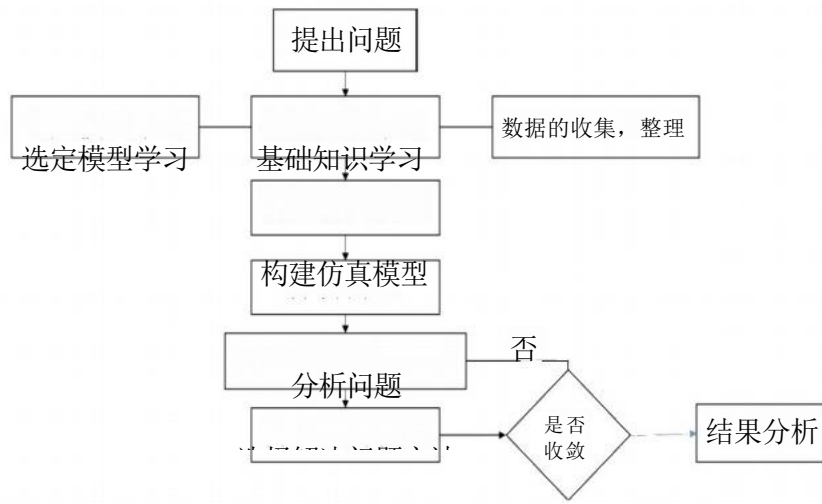


图1.1 论文技术路线图

2 超市现状及研究方法

本章将研究超市行业现状及分析未来趋势，是为了研究超市行业的现，而且研究排队理论以及相关公式、排队系统的基本模型、参数测试。

2.1 超市行业

2.1.1 超市行业发展现状分析

目前，超市对于人们的生活来说至关重要，超市里不仅有多种多样的生活用品，例如：家电、衣服、日用品等，还有各种食材，例如：海鲜、冻品、蔬菜、水果等，也就是说超市能为人们提供日常所需。现代社会，人们对于超市的依赖越来越强，使得超市行业的竞争越来越激烈。无论是购物中心、大超市或者便利店也在面对如此激烈的竞争，所以这些店铺必须创造多样的促销活动来吸引顾客前来购物，从而影响超市的营销及利益。2018-2023年中国前瞻产业研究院的超市行业商业模式与投资战略规划分析报告发布：2015年的超市增长率为6.8%，后来在2016年下降为6.7%。虽然2015年购物中心的生长率高达11.8%，但在2017年下降了4.4%，通过4种零售业如百花店、专业店、超市、购物中心来作比较，可以发现增长最稳定的是超市，但是增长波动最大的是购物中心，如图表2.1所示。

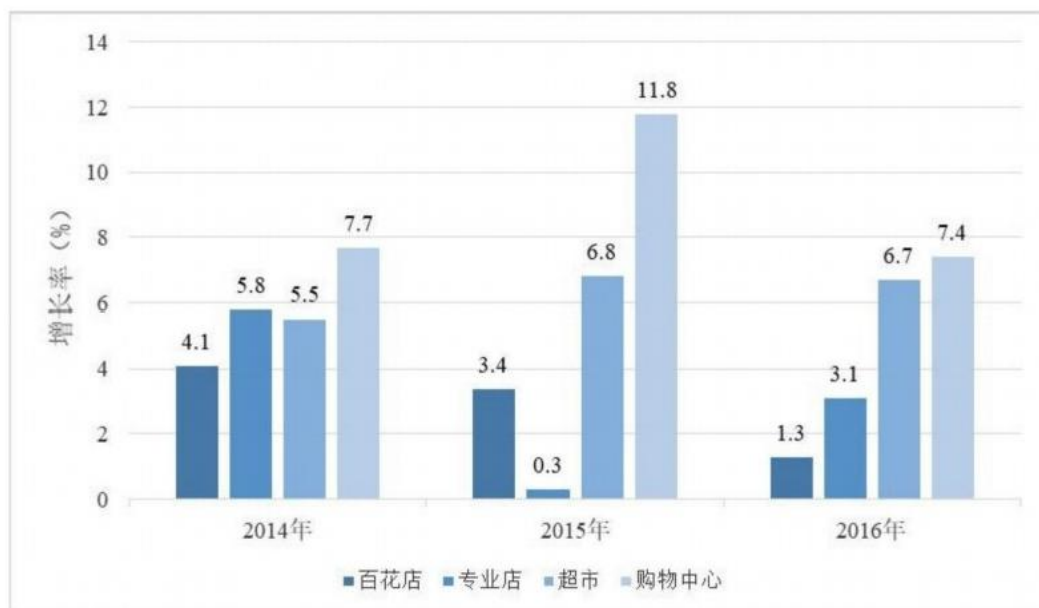


图2.1主要实体零售业态增长情况

基于Arena的大型超市排队系统仿真研究

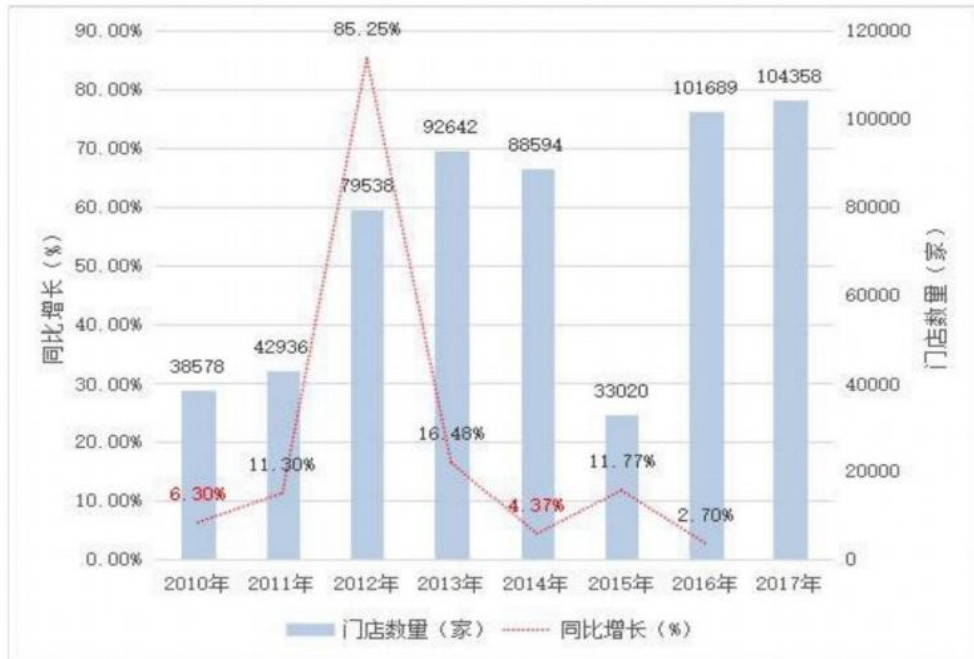


图2.2从2010至2017年百强超市行业规模

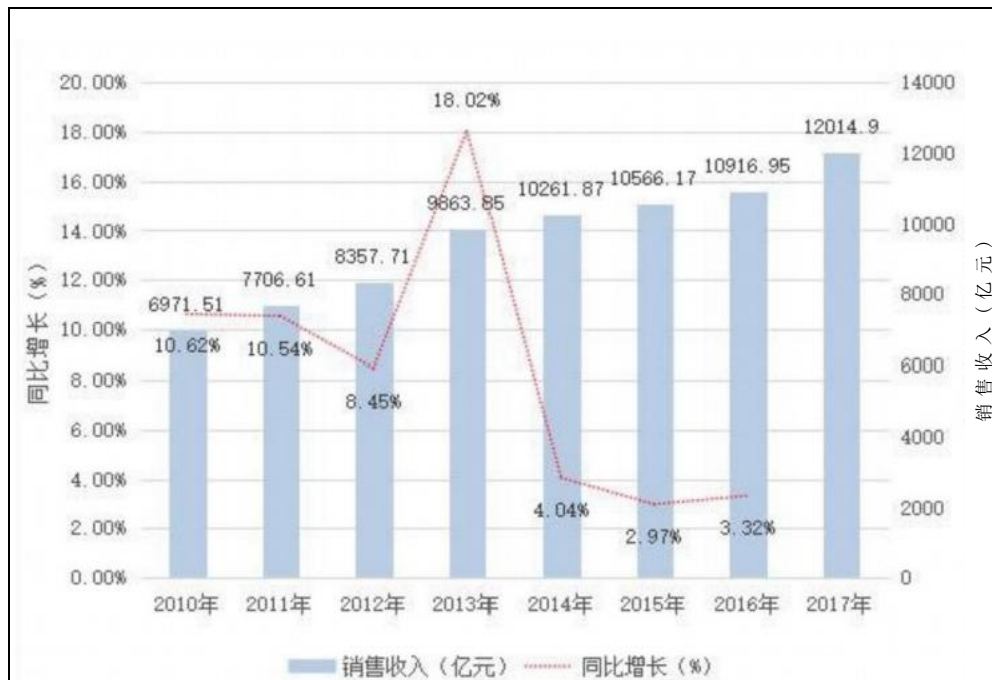


图2.3从2010至2017年百强超市行业门店数量情况

图2.2是2010-2017年百强超市行业规模，虽然近几年来增长不太明显，但是可以发现，超市行业不断发展，销售收入增长持续增高。图2.3是2010-2017年百强超市行业门店数量，可以看出门店数量越来越多，但是由于近年来门店数量越大，超市行业竞

争越来越激烈，导致门店数量同比增长率越来越低。如果店主不懂超市系统，那么顾客将被竞争对手抢夺，导致部分超市倒闭。因此，超市行业也是很有趣的行业之一。

2.1.2 超市行业未来趋势分析

(1) 建立线上和线下一体化新格局

目前，超市门店受到网上零售业发展的极大影响，操作一直很困难，电子商务公司的流量降下，遇到发展瓶颈，加之消费诉求发生深刻变化，商超企业与网络电商正逐步从独立、对抗走向融合、协作，深度融合是优势互补、实现共赢的发展方向。

(2) 格式跨界协同的趋势非常明显

完全依赖商品销售的发展模式无法适应市场需求，未来的零售业将继续向多格式，多领域的聚合和协同转变，在新的零售时代，超市公司还将关注多元化和个性化的消费需求，以培育新的消费增长点。

2017年，它被称为“新零售”第一年，各种零售新格式纷纷出现。随着2017年1月1日福州大本营“超级物种”的开放，传统创新开放了。与此同时，阿里，京东等电子商务平台开始大规模脱机，并且线下扩展正常化。生存空间被挤压后，业绩增长点传统商超很感兴趣，而且开始寻找新的，进入新一轮的调整和转变。

(3) 扩大鲜活农产品的规模

许多超市将扩大新鲜食品的规模放在重要位置，并作为竞争战略，同时，消费者对绿色、健康、安全和优质新鲜产品的追求为超市新品和精细化经营提供了基础。

(4) 重构智能与高效率的供应链系统

因为生产和消费之间的关系，传统企业对整个供应链控制得很薄弱，所以对信息传递缺乏及时反应，供需不匹配，导致库存升高、周转率低、商品同质化，随着信息技术的发展和数字化水平的提高，重建消费导向和及时、快速、时尚的供应链，实现生产终端、渠道和客户整合的效率提升，将成为中国超市产业转型升级的一个重要措施。

(5) 增加自有品牌的比例

随着中国连锁超市的激烈竞争，越来越多的超市公司选择通过自主品牌来增加利润空间。对于消费者来说，自有品牌产品的价格较低；对于超市公司而言，除了吸引顾客外，自有品牌产品还可以节省品牌使用费和中间供应环节，以确保获得更高的利润。

2.2 排队系统

等待服务是我们日常生活的一部分，大多数人在餐馆、超市、邮局等地等待的更频繁，无论何时等待服务，我们都是队列或等候线的一部分，队列是一群人，任务等候管理，只要当前的需求超过了当前提供需要解决的服务的能力，就会发生这种情况。

2.2.1 排队过程的基本要素

排队过程的基本要素包括客户到达、排队、服务和客户离开，Hillier 和 Lieberman[28] 假设该流程始于需要服务的客户。如果到达服务设施后，设施状态很忙碌，可以当时为顾客服务或排队等候，在后一种情况下，客户进入排队系统并加入队列，一旦服务器完成为客户提供服务，它将通过排队规定从排队列队中的客户当中选择一个人，然后服务机制为客户提供所需的服务，之后客户离开排队系统。

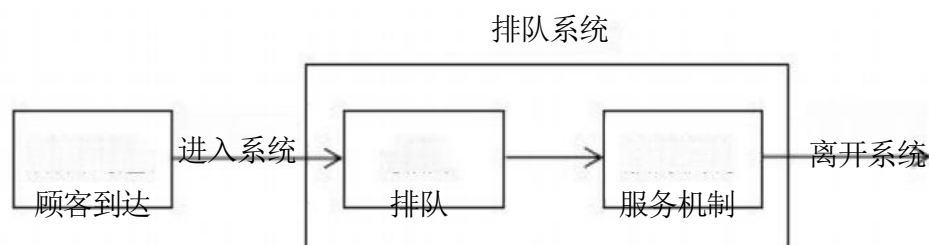


图2.4排队系统的基本模型

2.2.2 排队过程的基本术语

呼叫人口是客户的来源，可能是有限的或无限的。对于有限的传入客户，队列中的人越多，进入队列的人越少。

(1) 到达率是指每个时间段到达的客户数量。它可能是确定性的或概率性的变量，我们通常假设每次到达都是随机发生的，具有离散的概率分布。

(2) 队列大小称为队列的长度，可以是有限的或无限的。

(3) 队列规则是指为服务选择队列成员的顺序。

(4) 服务机制由一个或多个服务设施组成，每个服务设施包含一个或多个并行服务通道，如果有多个服务设施，则客户可以从这些服务设施中接收服务。

(5) 服务时间是一台服务器为一个客户提供服务所需的时间，服务时间可以是确定的，也可以是推测其概率分布已知的随机变量。

Dutta [29] 将提出了一些符号如下:

系统中 n 个客户(到达)的概率为 P_n , 系统中时间 t 的 n 个客户(到达)的概率 $P(t)$, 系统中的平均客户数量为 L_s , 系统中的平均客户数量为 L_q , 系统中的平均等待时间(在队列+服务中)为 W , 队列中的平均等待时间为 W_q , 当 n 个客户在系统中时的平均到达率为 λ , 当 n 个客户在系统中时, 整个系统的平均服务率为 H , 服务器成员为 m ,

客户在系统中多于1为n>1。

从Little[29]的公式，并获得以下：

$$L_s = W_s \tag{2.1}$$

$$L_q = W_q \tag{2.2}$$

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu} \tag{2.3}$$

$$L_s = L_q + \frac{\lambda}{\mu} \tag{2.4}$$

交通强度(利用率)

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \tag{2.5}$$

1991年，Randolph[30], 每位顾客的平均等候时间等于总等候时间除以所服务的顾客总数，a 为队列中的平均等待时间，b 为系统中的平均等待时间。

队列中的平均等待时间

$$a = \frac{\sum_{n=1}^N W_q(n)}{N} \tag{2.6}$$

系统中的平均等待时间

$$b = \frac{\sum_{n=1}^N W_s(n)}{N} \tag{2.7}$$

标准差是数据变化的指标，如果标准偏差很小，则队列中的时间和客户之间的时间变化不大。

队列中的时间标准差

系统中的时间标准差

$$\sigma_{w_q} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N [W_q(n) - W_q]^2}{N}}$$

(2.8)

$$\sigma_{w_s} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N [W_s(n) - W_s]^2}{N}}$$

(2.9)

平均队列长度指在某个时间间隔内队列中的平均客户数，假设间隔的开始时间为a，间隔的结束时间为b，平均队列长度(客户)为c，系统中的平均客户数量为d。

基于Arena的大型超市排队系统仿真研究

平均队列长度(客户)

$$c = \frac{\int_a^b L_q(t) dt}{b-a} \quad (2.10)$$

系统中的平均客户数量

$$d = \frac{\int_a^b L_s(t) dt}{b-a}$$

队列长度的标准差，如平均队列长度，假设在一个时间间隔内定义如下。

队列长度的标准差 (2.11)

$$\sigma_{Lq} = \sqrt{\frac{\int_a^b [L_q(t) - L_q]^2 dt}{b-a}}$$

系统中客户的标准差

$$\sigma_{Ls} = \sqrt{\frac{\int_a^b [L_s(t) - L_s]^2 dt}{b-a}} \quad (2.12)$$

(2.13)

排队系统中有两种状态：瞬态和稳态，瞬态是一种状态，系统中的客户数量取决于时间。相反，稳定状态是系统的状态，这样顾客的数量就不会随时间而变化。

2.2.3 Kendall符号

在排队论中，Kendall[31]符号是用于描述和分类排队系统所对应的排队模型的标准系统，D. G. Kendall在1953年首次提出作为用于特性队列的3因子a/b/c表示系统，它已经扩展到包括多达6个不同的因子，表示排队系统如下：

$$a/b/c:d/e/f$$

由a 为到达间隔时间的分布, b 为服务时间的分配, c 为并行的服务器或服务通道的数量, d 为排队规则, e 为排队系统的最大容量, f 为呼叫人口的规模。

在上文中, ‘a’ 和 ‘b’ 通常采用以下分布之一及其符号: M 为到达间隔或服务时间具有指数分布, 到达模式为泊松分布, D 为到达时间或服务时间是一般分配。

对于 ‘d’, 有时这个可以描述如 ‘M/M/1 与 LIFO 服务’, 如果没有给出队列规则, 则假定它是FIFO, 通常遇到的队列规则的缩写为FIFO 即 First-In-First-Out, FCFS 即 First-Come-First-Served, 相合FIFO,LIFO 即 Last-In-First-Out,SIRO 即 Service-In-Random-Order。

优先服务或循环服务的使用说明, 通常没有缩写。

对于 ‘e’， 如果没有给出该值， 则假定没有容量限制。

对于 ‘f’， 如果没有给出值， 则假定它是无限的。

例如， 队列M/M/2:FIFO/ /6 具有泊松分布， 服务数据分布， 两个并行工作的服务器， 先进先出队列规则， 没有容量限制， 只有六个用户可以占据这个队列。

2.2.4 M/G/1:FIFO/ 模型

Dutta[29]假设一个排队模型， 它具有单一服务器和输入过程， 平均到达率为 λ ， 但是服务时间的一般分布， 其均值和方差分别为 $\frac{1}{\mu}$ 和 σ^2 。

对于该系统， 稳态条件为

$$p = \frac{\lambda}{\mu} < 1 \tag{2.14}$$

该模型的特性如下：

$$P_0 = 1 - p, \tag{2.15};$$

$$L_q = \frac{\lambda^2 \sigma^2 + \rho^2}{2(1 - \rho)}, \tag{2.16}$$

$$L = L + P: \tag{2.17}$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda}, \tag{2.18}$$

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu} \tag{2.19}$$

2.2.5 M/M/S模型

M/M/s 模型具有单一队列和服务规则FCFS（先到先得）， 其中s是福利组的数量， λ 为病人到达系统时间。

平均到达率为 λ 与平均服务率为 μ

系统中的平均患者数

队列中的平均病人数

$$L = \frac{\lambda \mu \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s}{(s-1)!(s\mu - \lambda)^2} p_0 + \frac{\lambda}{\mu}$$

(2.20)

$$L_q = L - \frac{\lambda}{\mu}$$

(2.21)

基于Arena的大型超市排队系统仿真研究

系统中的平均时间(队列+服务器)

$$w = \frac{\mu \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^2}{(s-1)!(s\mu - \lambda)^2} P_0 + \frac{1}{\mu} = \frac{L}{\lambda} \quad (2.22)$$

队列中的平均时间

$$w_q = w - \frac{1}{\mu} = \frac{L_q}{\lambda}$$

交通强度

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} < 1 \quad (2.23)$$

Zero 客户到达系统的概率

$$P_0 = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{n=s-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \right] + \frac{1}{s!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^s \frac{s\mu}{s\mu - \lambda}} \quad (2.24)$$

n名客户到达系统的概率

$$P_n = \left(\frac{\lambda^n}{n! \mu^n} \right) P_0 \quad (2.25)$$

(1) 多服务器队列(Multiple Server Queue)

(2.26)

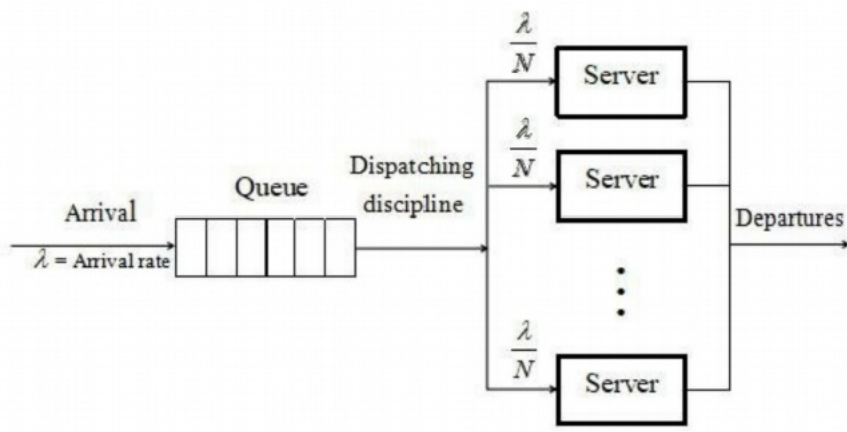


图2. 5多服务器队列(Multiple Server Queue)

(2) 多个单服务器队列 (Multiple Single-server Queues)
用于M/M/s 排队模型:

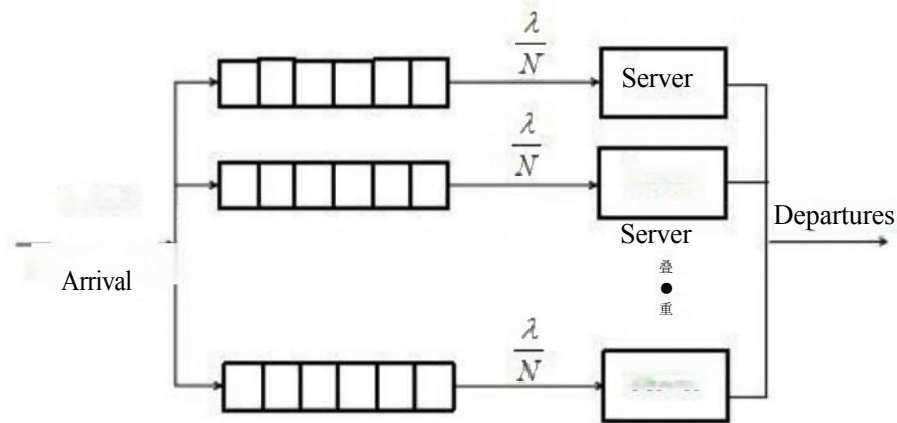


图2.6多个单服务器队列(Multiple Single-server Queues)

2.2.6 统计分析

在模拟当前和新的排队系统之后，以平均值的形式获得关键性能指标，然后通过统计分析来比较这些平均值以找出它们是否相等。

本文将提到两种参数测试，Independent-Sample t-test 与 One-Way ANOVA测试。

(1)Independent-Sample t-test

t 检验是零假设的检验，即两个正态分布的群体的均值相等，给定两个数据集，每个数据集的平均值，标准偏差和数据点数量，可以使用某种 t 检验来确定均值是否为区域，前提是可以假设基础分布是正常的。

假设：

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 < \mu_2 \text{ 或 } \mu_1 > \mu_2$$

测试统计分为两种类型：

不等方差测试统计：

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{s_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}}$$

由

$$s_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} = \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}$$

假设s为汇总样本标准差，n₁，n₂为

第i组的参与者人数, X_i 为第i组的意思。

平等差异测试统计:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{s_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}} \quad (2.27)$$

(2.28)

(2.29)

基于Arena的大型超市排队系统仿真研究

由

$$s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)} \quad (2.30)$$

假设 s^2 为组 i 的方差的无偏估计, n_i 为第 i 组的参与者人数, X_i 为第 i 组的意思, $n-1$ 为任一组的自由度, n_1+n_2-2 为自由度的总数, 用于重要测试。

当

$$tc > ta: m+n_2-2 \quad (2.31)$$

零假设 H_0 在 α 显著性水平被拒绝。

(2)One-Way ANOVA

One-Way ANOVA 程序通过独立变量对定量因变量产生单因素方差分析, 方差分析用于检验几种方法相等的假设。

假设:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = \mu$$

H_1 : 至少有一对手段是不同的

的 测试统计:

$$F_c = \frac{MS_b}{MS_w}$$

由

$$MS_b = \frac{\sum_{i=1}^k n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2}{k-1}, \quad (2.32)$$

$$MS_w = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} n_i (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{N-k}$$

(2.33)

假设 k 为团体数量， N 为数据总数， n_i 为组 i 中的数据数量， \bar{y}_i 为第 i 组的平均， \bar{y} 为数据总数的平均值。

当

$$F_c > F_{\alpha; k-1, N-k} \quad (2.35)$$

零假设 H_0 在 α 显著性水平被拒绝。

如果零假设被拒绝，则使用多重比较来找出哪一对平均值显著不同，最后将发现具

有最小或最大平均值的最佳处理，在下文中，将讨论多重比较概念。

2.3 Arena Rockwell

2.3.1 Arena的定义及意义

Arena 软件能为我们的模型带来仿真力量，关联供应链、制造业、过程、物流、分配与仓储以及服务系统，并且Arena 还提供了最灵活和范围最广的操作，可以根据用户需要创建具有详细和复杂流程的模型。

仿真指广泛收集的方法与用途以便模拟实际系统的行为，事实上，也可以把仿真方法用于模拟许多行业的模型。自计算机与软件发展以来，仿真是既流行又有力的方法，Arena仿真软件的功能如下：

- (1) 详细分析所有的制造系统以及物料搬运部件。
- (2) 分析复杂的顾客服务系统与顾客服务管理系统。
- (3) 分析各种包含仓储、运输以及物流系统在内供应链。
- (4) 取决于各种度量系统，如：成本、输入数据、质素、利用率预测系统的结果。
- (5) 制定过程的瓶颈点，例如：排队队列过量、过度使用资料。
- (6) 安排职员值班、工具或者物料需求。

2.3.2 流程图模块

Arena 仿真软件的某个数据模块如下所示：

(1) Create 模块

图2.7是Create 模块，用于建立用户感兴趣的对象结构或者实体进入模型如：工件进入生产操作、顾客走进商店由建立实体按照顾客到达的模式或者实体到达间隔时间，都是要输入系统或结构的数据。



Create

A screenshot of the 'Create' module configuration window. The window has a blue title bar with the text 'Create'. Below the title bar, there are several fields and controls:

- 'Name:' followed by an empty text input field.
- 'Enty Type' (sic) with a dropdown menu showing 'Eny1' (sic) and a checkmark.
- 'Greadle' (sic) with a dropdown menu showing '1'.
- 'Unit' with a dropdown menu showing 'Hous' (sic).
- 'Time Between Arrivas' (sic) with a text input field containing '1'.
- 'Type.' with a dropdown menu showing 'Vahuc' (sic).
- 'Random(Expo)' with a text input field containing '0'.
- 'Eniies per Arivat' (sic) with a text input field containing '0'.

图2.7 Create模块

(2)Dispose 模块

图2.8是Dispose 模块，实体输出的模块或者是模型最终的仿真模块，而且表示已完成基本的统计数据收集的对象，如：工件输出生产操作、顾客离开商店。



图2.8 Dispose模块

(3)Process 模块

图2.9是Process模块，表示活动的结构，例如：为顾客服务、冲压任务、包装任务、病人从原点到达终点的距离、配件移动等，这些可能需要超过一个资源，或者未来进行活动不需要资源，例如：冲压部件必须使用冲压机为资源，使得活动能够完整进行或者完成病人从原点至终点所走的距离，实体能自己完成过程而自己走路，不需要护士的帮助。此外，实体进行完成过程的时间可能涉及到增值或者无增值，相关的成本将被分配到适当的序列中。

行动的过程将在模块中进行，具有如下4个行动介绍：

① Delay

该行动不需要资源或者无资源，以致无法发生排队队列，例如：能够容纳无数人的泳池，不需要资源，因此，顾客可以直接进入泳池，在大型停车场停车或者顾客从服务点走向另一个服务点。

② Seize Delay Release

该行动先是订资源数量，然后进行活动，当完成活动时释放资源变成空闲状态，以此让已被释放的资源继续跟下面的实体进行活动。因此，如果实体不能使用资源，则实体必须等待，直到资源状态变成空闲。

③ Seize Delay

为了进行活动该行动属于订资源数量，然后进行活动。因此，当出现订资源的时刻，总是有排队队列，该行动不会出现空闲的状态。因此，如果使用该行动，后面将有Delay Release。

④ **Delay Release**

该行动是应用Delay 进行活动，当完成活动之后将释放资源变成空闲状态，以增加

资源窗口，进入资源窗口之后，为了让下面的实体应用已释放的资源而指定需要释放的资源名字。

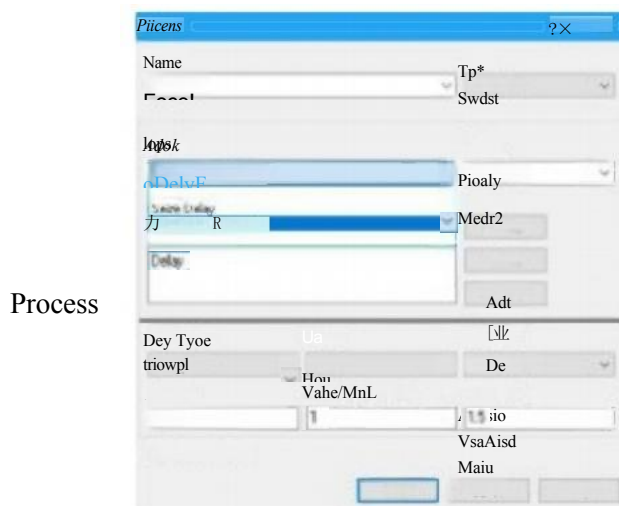


图2.9 Process模块

(4)Decide 模块

图2.10是Decide 模块，用于选择及决定对象的结构如何以及走向哪个方向，各个实体可以为自己选择一个路线，决定决策将有两个主要的条件：概率决策与条件决策，决策将分为4个种类，如下所示：

① 2-way by Chance

概率决策有两个决定方向，这种决策将出现Percent True(0-100)地方，将在这个地方增加机会。因此，这个模块将有真与假两个方向，但是实体只能选择一个方向。

② 2-way by Condition

这个是另外一个决定方向，这个方向使用2个条件决定，因此，该模块将有两个出路，第一个出路是条件实现的选择与条件为假的选择，通过变量、属性、实体种类、表达式建立这些条件。

③ N-way by Chance

实体只能选择一个方向从概率决策N 选择，如果选择这个决策，输入各个选择的输入概率，用户可以选择添加，然后将出现条件窗口，也有Percent True(0-100)的选添加

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/166205000213011011>