

分类号: U41

10710-2010021014



长安大学

博士学位论文

基于消费者行为的 Multi-Agent 商业中心
停车模型研究

陈建新

导师姓名职称	许金良 教授		
申请学位类别	工学博士	学科专业名称	道路与铁道工程
论文提交日期	2016 年 10 月 26 日	论文答辩日期	2016 年 12 月 21 日
学位授予单位	长安大学		

Study on parking model for CBD based on the consumer Multi-Agent behavior

A Dissertation Submitted for the Degree of Doctor

Candidate: Chen Jianxin

Supervisor: Prof.Xu Jinliang

Chang'an University, Xi'an, China

论文独创性声明

本人声明：本人所呈交的学位论文是在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除论文中已经注明引用的内容外，对论文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本论文中不包含任何未加明确注明的其他个人或集体已经公开发表的成果。

本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名：陈建红

2016年12月22日

论文知识产权权属声明

本人在导师指导下所完成的论文及相关的职务作品，知识产权归属学校。学校享有以任何方式发表、复制、公开阅览、借阅以及申请专利等权利。本人离校后发表或使用学位论文或与该论文直接相关的学术论文或成果时，署名单位仍然为长安大学。

（涉密论文在解密后应遵守此规定）

论文作者签名：陈建红

2016年12月22日

导师签名：王平

2016年12月22日

摘要

商业中心作为城市重要的组成部分，是一个城市商业体系成熟与否的标志，也是一个城市空间结构中重要的组成部分。长期以来，虽然基于土地性质或是共享停车的停车需求预测在宏观上为预测商业中心的停车需求提供了较为完整的方法，但是作为一种集计的研究方法，存在着诸如忽视消费者在消费过程中目的性、未计入对于商业中心中各商户业态组合和商业微区位的影响、消费者个人特质体现不明显、无法反应城市开发或者商业业态动态变化的影响等问题，同时上述研究也都默认地将停放者视为完全理性的“经济人”¹，而这些都是与作为“社会人”²而存在的消费者的行为完全不相适应的，因此如何建立一种模型去解决上述若干问题，对于停车研究就显得极为重要。

论文对消费者行为与城市空间结构以及两者之间相互影响进行了分析，从消费者的个人特性和城市空间两方面探讨了影响消费者消费行为的主要因素，以上因素体现在消费者停车行为中，即表现为停车目的性的高度明确性和停车费用的相对不敏感性，消费者对于停车之后的消费体验的重视，远远大于停车费用等因素的影响。

针对以上问题，论文进行了以下几方面的研究工作：

1.通过文献研究，确定了影响消费者行为的主要个人因素和主要城市空间因素，并发现两者之间的相互作用关系。

2.结合前述对于消费者行为影响因素的分析，建立了基于 MNL 的消费者空间选择模型，模型考虑了消费者个人特质和商业中心的空间结构因素，结合实际调查获得的数据，论文对于模型进行了标定，并对标定结果做了分析。

3.利用小波变换和 ESLOM 算法对于具有较强波动性、易受偶发因素影响的停车数据进行了数据预处理，利用预处理之后的数据对神经网络进行了训练，用来预测停车场的短期停车位数量。

4.通过构筑双层智能体Agent模型，论文设置不同消费者Agent的行为规则，结合基

¹ “经济人”最早来自于亚当·斯密的《国富论》，在西方古典经济学中指人具有完全的理性，可以做出让自己利益最大化的选择。

² “社会人”最早由梅奥提出，他认为人通过一系列的社会化而投入到社会大集体中，从而获得满足感。“经济人”与“社会人”强调个体不同，“社会人”强调的是社会总体以及社会中人与人的关系。

于模糊偏好下的多目标综合评价法，对于消费者在不同场景下的停车选择进行了模拟和分析。

论文将过去单纯从交通、土地或停车费用的角度出发去分析停车，转变为结合消费者行为和城市空间结构对于停车行为进行分析，更多地将进行停车场选择的消费者的停车行为从默认的完全理性的“经济人”转变为更接近现实状态的“社会人”，初步突破了原有停车预测基本完全依赖于以土地和宏观经济数据为主，不考虑消费者个人特性、不能够预测城市长期发展和商业模式变化可能对停车需求产生的影响、不能够反应中微观区位对停车选择的影响等缺点。

关键词：Agent；消费者行为；城市空间结构；停车行为模拟

Abstract

Parking demand, a phenomenon company with the economy growth and city development, has become a sever problem in traffic planning. In the macro view, the traditional parking demand analysis method,depending on the land function and sharing parking principle, has provided an mature tool for traffic planning for several years ,but the lack of analyzing for consumer fundamental parking reason, impacts of the micro location,consideration of the consumer personal characteristic, dynamic changing of urban development and commercial form, make the traditional method shows a obviously deficiency. The study of a new method ,which can overcome the deficiency mentioned above, has become very important.

The impacts of consumer behavior and city spatial structure are studied, the key factors which influence the consumer behavior are considered .The consumer action chain, mentioned in this part ,shows that consumers favour of visiting a mall with complete commercial forms and large area, the content of consumer action chain increase with the commercial form length. The trending, a blurred demarcation line between consume and recreation, makes consuming become an important part of recreation and the consumer parking behavior become more purposeful and the parking cost has not such an important role for the consumer no longer.

Three key basic parts are discussed in this paper :

1.A micro data inversion method for Agent is setup from macro data based on the census to provide a tool for simulation.

2.Calibrating the Parameter of MNL model by investigating data and assume the consumer initiate behavior following the MNL model.

3.Pretreat the Parking Data by Mallat algorithm of weavelet and ESLOM algorithm to eliminate the “noise” impacts and training the Weavelet neru network by investigating data to predict the parking modeling

Based on the three basic parts above,simulations,setup under certain circumstance, is designed to show the consumer parking behavior changing when it is considered following the Prospect Theory ,the circumstances are divided into two conditions ,one is a CBD with

four mall,the other one is this four mall CBD with a comer-a parking building with 500 paring space.

This paper, providing a new perspective for parking planning which different from the traditional land-depending method, engages in analysing the parking behavior impacts of Consumer behavior and city spatial structure and tries to reflect the dynamic parking behavior changing process accompany with the development city and growth of economy.

Key words: Agent; Consumer behavior; City spacial structure; Parking Behavior Simulation

目 录

第一章 研究的背景、内容及意义	1
1.1 国内外对停车需求的研究.....	2
1.2 混合用地状态下的共享停车研究.....	5
1.3 停车行为和停车选择模型的研究.....	8
1.4 目前停车研究存在的问题.....	11
1.5 论文主要研究内容和目标.....	13
1.6 论文的研究技术路线.....	15
第二章 城市空间结构与消费者行为	18
2.1 消费及消费的分类.....	18
2.1.1 消费的定义.....	18
2.1.2 消费的分类.....	18
2.1.3 现代消费.....	19
2.2 关于消费者行为的研究.....	21
2.3 消费者属性对消费行为的影响.....	23
2.3.1 性别的影响.....	23
2.3.2 年龄的影响.....	24
2.3.3 收入的影响.....	25
2.3.4 受教育水平的影响.....	25
2.4 购物消费行为的决策机制.....	26
2.4.1 购物信息来源.....	26
2.4.2 购物消费场所的空间决策因素.....	28
2.5 消费活动系列化与空间相关性分析.....	29
2.5.1 消费活动的系列化.....	29
2.5.2 消费活动系列化的原因.....	29
2.5.3 消费活动系列化与空间的相关性分析.....	30
2.5.4 消费活动系列化对停车行为的影响.....	31
2.6 本章小结	32
第三章 消费者 Agent 微观数据的获取方法	33
3.1 Agent 微观数据的获取	33
3.1.1 已有数据的获取方式和规则框架.....	33
3.1.2 获取模型中数据的变量.....	33
3.2 Agent 微观数据的属性	34
3.2.1 属性的分布及关系依赖.....	34

3.2.2 属性之间耦合性分析	35
3.3 属性的反演过程	36
3.3.1 数据输入	36
3.3.2 反演结果分析	39
3.4 本章小结	40
第四章 消费者空间选择模型	41
4.1 消费者的空间选择模型	41
4.2 消费者消费、停车行为调查的背景介绍和数据分析	45
4.2.1 调查地点情况	45
4.2.2 调查设计	47
4.2.3 调查结果分析	48
4.3 模型的构建及标定	55
4.3.1 模型构建	55
4.3.2 模型的拟合及结果分析	58
4.4 不同属性消费者选择行为比较	59
4.4.1 性别	59
4.4.2 年龄	60
4.4.3 收入	60
4.4.4 学历	61
4.5 本章小结	61
第五章 基于小波变换的有效泊车位短时预测神经网络模型	63
5.1 有效停车泊位的短时变化的特征分析	64
5.1.1 周变化特性	64
5.1.2 日变化特性	65
5.1.3 数据特征	67
5.1.4 离群数据的分类	67
5.2 基于小波分解的局部信息熵的 ESLOM 算法	69
5.2.1 小波分解降噪原理	69
5.2.2 小波分解与重构	70
5.2.3 基于信息熵加权的 ESLOM 算法	74
5.2.4 小波神经网络预测模型	78
5.3 实例数据分析	83
5.4 本章小结	86
第六章 基于 Agent 的消费者停车选择模型	87
6.1 消费者停车行为的初始化与前景理论	88
6.1.1 阿莱悖论和前景理论	88
6.1.2 前景理论在交通领域的应用	90

6.2 Agent 的行为规则及模拟流程	92
6.3 消费者 Agent 的模型建立	94
6.4 微观战术层 Agent 建模	95
6.4.1 驾车者计算评价值	97
6.4.2 等待时间的计算	97
6.5 宏观战略层 Agent 建模	99
6.5.1 停车选择战略层面影响因素及参照点建立	99
6.5.2 停车场综合属性值的计算	99
6.6 驾车者停车行为模型的验证	101
6.7 调查数据	104
6.8 基于 Agent 的停车模拟及分析	104
6.8.1 场景选定	104
6.8.2 场景一模拟及结果	105
6.8.3 场景二模拟及结果	108
6.8.4 场景三模拟及结果	110
6.8.5 场景四模拟及结果	111
6.8.6 场景五模拟及结果	112
6.8.7 停车场有效泊位数预测模型在模拟中的作用	114
6.9 本章小结	115
第七章 结论与展望	116
参考文献	118
附 件	126

第一章 研究的背景、内容及意义

从城市发展的历史来看，城市的形成来源于人口、资源、产业的大量聚集，聚集推进了信息的交流和经济的发展，而大量相互关联的商业企业在空间上的聚集，形成了商业中心。

聚集为商业中心带来了良好的合作、竞争机制，对于消费者而言，这种商业聚集现象为消费提供了一系列有利的购物条件，使得购物更加便捷，体验更加丰富。

商业中心，作为一个城市最重要的公共空间，由两个最基本的要素组成：商业活动空间的提供者—城市空间和商业活动的参与者—消费者，两者相互影响，相互作用，商业中心的形态、结构塑造了消费者的行为与消费习惯，消费者的需求和变化又促成了商业中心业态和结构的不断演化。

但是由于商业中心天然具有的高度聚集的形态，大量人流、车辆的汇集，造成了诸如交通、环境等各类问题，例如国内著名的王府井商业中心，日均客流量可以达到 30 万人次，西安小寨商业中心节假日高峰期人流量可以达到 50 万人次。大量人流聚集，造成了商业中心在高峰时间停车位一位难求，部分停车场利用率达到了较高的水平，但是于此同时，同样区域的部分停车场却存在着大量的空闲车位，以重庆市传统商业中心南坪为例，节假日部分停车场车位利用率接近 90%，但是有些停车场的利用率只有不到 10%，晚间甚至会低至 3%^[1]；西安市中心的钟楼商业中心也存在着停车场间利用率不均衡的情况，部分停车费用较高的停车场甚至较停车费用低的停车场使用率还高；根据东南大学的调查，类似停车场利用率不平衡的情况也在南京商业新街口中心出现，在停车高峰时间，相距很近的停车场停放数量相差悬殊；北京工业大学关宏志在对北京西单商业中心的调查中也发现了类似情况^[2]，根据作者对于西安小寨商业中心的四个购物中心的停车场调查，类似情况也在小寨商业中心出现，在微区位、停车位数量基本相同的情况下，商户之间的停车状况大相径庭。

作为相对成熟的商业中心来讲，各个商业中心出现的此类情况很难以消费者不熟悉环境或者停车引导信息不健全加以解释，按照目前商业中心停车基于土地功能的研究方法，当区位条件接近时，同样的土地应该有基本接近的停车需求，但是商业中心所出现的情况却与这样的假设有着较大的背离：不同的购物中心，其单位面积所吸引的停车数量有着巨大的差异，即使购物中心配建指标和总建筑面积基本相同，单位面积吸引的车

辆数也会存在巨大差异。

这个问题的出现，其实质是商业中心停车研究视角的偏差：基于土地进行停车研究的视角其研究的实质是相对较易量化的物，而非不宜量化、具有更高离散形态的人，而这恰恰是问题关键所在。

Jane Jacobs 在经典之作《美国大城市的生与死》对于交通问题做了如下论述：“通常，汽车会被方便地贴上坏蛋的标签，要为城市的弊病和城市规划给人带来的无望和无效负责”，“较之城市的复杂需求，汽车的简单需求是比较容易理解和满足的。越来越多的规划者和设计者们相信如果他们能够解决交通问题，他们就能够解决城市的主要问题。城市有着远比车辆交通要错综复杂的多的经济和社会问题。在你不知道城市是如何运行，需要为它的街道做些什么之前，你怎么能够知道如何来应付交通问题？”

应该说 *Jane Jacobs* 的疑问回答了城市商业中心的停车问题中最需要关注的方面：消费者为什么选择了那些拥挤的停车场，而放弃了那些空闲的停车场。但是如果站在消费角度去考虑，则很容易得到答案：商业中心的吸引力，不在于相同功能土地的单纯叠加，而在于丰富的业态组合，对消费者购物欲望的迎合和激发；消费者的停车行为，不是只单纯对于较低的停车费或者地上、地下停车场类型的选择，而是停车之后如何获得良好的消费和休闲体验。

作为对商业中心的停车研究而言，如果不了解消费者停车的最终目的，是不可能为解决停车问题提供很好的解决方案，只有通过对于消费者行为和商业中心结构这两者特性的研究，才能发现商业中心停车最深层次的问题所在。

1.1 国内外对停车需求的研究

停车问题伴随着汽车的出现和城市的发展，成为了城市建设和规划中必须要面对的重要问题，综合来看，目前国内外对于停车问题的研究可以大致归纳为以下三方面：（1）宏观角度对于停车需求的研究；（2）关于不同区域驾驶员的停车行为和停车选择模型的研究；（3）停车诱导信息系统的构架和发布系统的研究。

从上世纪 50 年代开始，美国就对全美不同地域的代表性城市，针对不同区域、不同土地类型的建筑展开了详细的停车需求调查和相关数据分析，在经过对 60 多个城市进行调查的数据进行系统的分析和梳理之后，于 1956 年出版了《城市停车指南》一书。上世纪 50-60 年代初，由于中央商务区概念的提出和大行其道，学者们将研究关注点更

多地集中于中央商务区这类高密度开发区域，获得了以《城市中心停车》为代表的大量研究成果和其它大量数据。1970 年出版的《停车原则》侧重于对 1950 年以后一百多个人口在 1 万至 100 万以上城市的停车调查结果进行分析^[3]，另外 *ITE* 定期公布根据最新调查数据得到的停车生成率，*ITE* 在其 1987 年的第二版报告中，披露了包括 1450 个不同用地类型所产生的停车生成率的调查数据，报告中囊括了多达 64 种用地情况^[4]。

国内外广泛使用的停车需求预测模型基本上包括三类：停车生成模型、用地与交通影响分析模型、以出行和车辆出行关系为核心的模型。

1. 停车生成模型将研究范围内不同土地开发性质的区域都看做是停车吸引产生源，根据土地性质分析得到单位指标的停车需求率，把单位指标所能够引起的每个地块的需求相加，得到该地块总的停车需求量。

停车生成模型通过土地利用性质和停车需求率之间关系获得，它认为一个区域内各种不同类型的土地都会产生停车吸引，从而得到区域总的停车需求就等于每个地块所产生的吸引量之和。

停车生成率模型可以表示为：

$$P_d = \sum_{j=1}^n (R_{dj})(L_{dj}) \quad (1.1)$$

式中： P_d 为第 d 年高峰时间停车需求量；

R_{dj} 为第 d 年 j 类用地单位停车需求生成率；

L_{dj} 为第 d 年 j 类土地使用面积（面积或雇员数量）

停车生成率模型在城市停车规划中得到了较为广泛的应用，特别在确定各类大型建筑所需要的配建停车位数量中使用较为广泛。

2. 用地与交通影响分析模型

用地与交通影响分析必须对所研究区域的停车需求与该片区的社会、经济活动特点、交通特点之间的联系分析之后建立，该模型是对停车生成率模型的完善和发展，对停车需求与土地利用情况、周边路网交通量之间建立起了较好的关联，其表达式为：

$$P_t = f(x_i)f(\alpha_q) \quad (1.2)$$

$$\text{式中： } f(x_i) = \sum_{j=1}^n (\partial_{ij})(L_{ij}) \quad (1.3)$$

L_{ij} 为第 i 区 j 类土地用量

∂_{ij} 为第 i 区 j 类土地使用单位建筑面积停车生成率

$f(\alpha_q)$ 为交通影响函数, $f(\alpha_q) = (1 + \alpha_q)^2 \cdot k$

α_q 为路网年增长率, k 为停车变化率的修正系数。

3. 基于出行的预测模型

如果认为停车需求与一个地区的经济社会发展水平存在一定的联系, 而社会经济发展强度直接与该片区所吸引的车辆出行次数相关联, 那么就可以通过在高峰时间的停车需求与该片区的车辆出行数量间的联系建立模型, 这就是基于出行的停车需求预测模型, 中国城市规划院的需求模型是较为典型的代表:

$$P_i = [N_i + (D_{i1} \cdot f(s) - O_{i1})] + (D_{i2} \cdot f(s) - O_{i2}) \quad (1.4)$$

P_i 为第 i 小区高峰停车需求;

N_i 为第 i 小区夜间停车量;

D_{i1} 第 i 小区高峰时段前累计交通吸引量;

O_{i1} 第 i 小区高峰时段前累计交通发生量;

D_{i2} 第 i 小区高峰时段末累计交通吸引量;

O_{i2} 为第 i 小区高峰时段累计交通发生量;

$F(s)$ 机动车停车生成率。

上海在对停车需求量和出行吸引量之间的关系进行研究中发现, 两者间如果利用对数关系加以回归, 则存在着较为准确的数学关系, 在此结论的基础上提出了一元对数模型和二元对数模型:

一元对数回归模型:

$$\log P_i = A + B \log D_i \quad (1.5)$$

式中 P_i 为预测年第 i 区机动车实际日停车需求量;

D_i 为预测年第 i 区的出行 吸引量

A, B 为回归系数。

二元对数回归模型:

$$\log P_i = A_1 + A_2 \log D_{ki} + A_3 \log D_{hi} \quad (1.6)$$

式中 P_i 为预测年第 i 区机动车实际日停车需求量;

D_{ki} , D_{hi} 为预测年第 i 区的客车、货车出行吸引量;

A_1 , A_2 , A_3 为回归系数。

以出行为基础的预测方法,难以反应随着社会经济及其他因素的发展,停车生成与车辆出行之间关系的变化,因此难以用于预测长期趋势。

4. 以相关分析法为核心的多元回归分析模型

多元回归分析模型通过对社会经济活动的预测而建立,是根据停车需求、城市经济活动、城市土地使用这三个因素之间的数学关系而建立的一种统计回归分析模型,美国在《停车手册》当中,建立了以下多元回归模型:

$$P_i = A_0 + A_1 X_{1i} + A_2 X_{2i} + A_3 X_{3i} + A_4 X_{4i} + \dots + A_n X_{ni} \quad (1.7)$$

式中 P_i 为 i 区高峰时间停车需求量;

A_i 为回归系数, $i=0, 1, 2, \dots, N$

X_{ni} 为 i 区对应就业岗位数、建筑面积、企业数、小汽车保有量、零售面积等社会经济发展指标。

该方法所需要大量的社会经济方面的数据,虽然可以根据政府每年的经济统计数据获得,但是由于停车需求的预测完全依靠各项社会经济数据的历史数据和预测数据,很容易导致误差,同时从预测区域上来看,比较适合大区域地区的停车预测。

1.2 混合用地状态下的共享停车研究

上述提及的各个模型对于混合用地状态下停车需求虽然可以预测,但是预测结果往往偏大,究其原因主要是在混合用地情况下,不同用地性质的地块存在着明显的停车共享行为,共享停车使得车辆在不同时间段分享停车资源,从而可以大大减少停车位设置数量。

共享停车研究最早于上世纪八十年代展开,研究成果集结于 1983 年出版的《共享式停车场》一书^[5],从 1983 到二十世纪末,学者们对于共享停车的基础数据不断地进行更新、完善,为其研究提供了可靠的统计数据^[6],最新出版的《共享式停车场》就是对上述研究成果的体现^[7]。共享式停车分析现已成为在美国审批、设计公共设施的必须流程。

国内对于停车研究开展时间较晚,在上世纪九十年代之后,由于大量城市停车的供

需矛盾逐渐突出,在 1988 年和 1995 年,上海城建学院分别对于上海市区和浦东新区的机动车进行了停车特征的调查,停车问题首次得到了较为系统的研究^[8];1996 到 1998 年,中国城规院通过“九五”科技攻关专题,提出了对于停车场规划的设计导则^[9]。

东南大学的阮燕健通过对上海市多个典型公共建筑的停车场进行的调查,完成了建筑物配建停车位指标的研究^[10];

东南大学凌浩在论文中侧重于研究土地混合开发状态下的停车问题,采用了周转率来修正综合开发用地停车泊位量^[11];

同济大学的李林波采用本体论的理念,从停车配建的内在特征入手,对泊位功能进行划分,并结合区位条件属性的分析来修正已有停车配建标准,建立基于泊位功能划分和区位条件的停车配建方法^[12]。

西南交通大学的代澍川在国外已有的“共享停车理论”基础上,对产生共享停车的各类深层次因素进行了剖析,提出了停车共享需要在进行详细调查的基础上去设计反应共享停车行为,论文中对于在共享状态下如何实施停车调查的方法和方案也进行了研究。通过论文中所研究的模型,能够较好地反映土地在综合开发状态下各类因素所产生的影响,极大地推进了停车需求预测方法的发展,也是对国外的共享停车理论与国情相适应做出的适应性改进,论文中所建立的共享停车需求预测模型及其求解方法与流程、共享停车模式在实现的过程中所需要配套的工程措施及管理方法,为在共享停车状态下确定停车泊位规模规划提供了理论上和技术上的保障^[13]。

华中科技大学牟振华也利用“紧凑城市”理论,对于共享停车进行了研究,并对于就“共享停车”如何实施、车位如何计算方法等问题进行了探讨,并针对国内在停车管理中的现状针对性地进行了政策上的分析^[14]。

青岛理工大学的王丰元在论文中对于土地类型与交通影响预测模型建立的基本原理进行了分析,论文建立了用地特征函数来表述土地性质与停车生成率之间的关系,并利用交通影响函数对于车流量增长率和停车率对停车需求的影响进行分析,在此之上建立了停车需求预测模型^[15]。

东南大学薛行健在探讨基于泊位共享的停车需求预测方法时,主要基于停车生成率着手进行研究,同时考虑共享停车带来的折减可能,并在论文中提出可对现有停车配建指标按照规划目标采用类比法进行调整^[16]。

无锡市城市规划编制研究中心的肖飞以停车泊位共享理论为出发点,对于混合土地

开发中泊位共享的停车需求预测提出了模型及计算方法。作者在工作中将泊位共享理论应用于无锡市某地块的实际项目,通过实际项目验证了通过应用泊位共享的停车需求预测模型,可以将高峰时间停车需求总量减少 20%,从而达到节省投资和减少土地使用^[17]。

长安大学马荣国、刘洪营,通过对于一个城市的不同类型建筑停车进行的调查而获得的不同类型建筑的停车需求时间概率分布函数,将同一时刻各类建筑的停车需求相互叠加,就可以计算得出城市中商住综合体的停车规模^[18],其具体表达如下:

对第 i 种类型建筑而言,设 $f_i(T)$ 为时刻 T 第 i 种类型建筑停车满需求的概率函数,则 T 时刻第 i 种类型建筑停车需求 $f_i(T)$ 为:

$$P_i(T) = p_i f_i(T) \quad (1.8)$$

则 T 时刻该建筑的总停车需求 $f(T)$ 为:

$$P(T) = \sum p_i f_i(T) \quad (1.9)$$

如果每日任意时刻都必须保证各类型建筑停车需求,那么此建筑其停车泊位规模可以取一天中的最大值 $\max\{P(T)\}$ 。

吉林大学宗芳利用非集计模型对于停车需求和 TDM 进行了模型构建和需求预测,通过对非集计模型、活动出行需求预测方法、四阶段预测模型三者合理利用,作者建立了 TDM 策略评价模型,论文中通过使用 *Multi-nomial Logit*、*Nested logit*,建立了交通结构优化策略评价模型系统^[19]。

同济大学王曼引用区位势概念,选择区位集聚和交通可达性两个区位因素作为影响建筑物配建指标的关键因素,重点分析距离阻抗、道路服务水平和道路等级对交通可达性的影响,并建立内部因子和区位因素的关系模型,建立了基于区位的建筑为停车配比模型^[20]。

缪立新、刘冰通过对不同类型 CBD 土地利用和规划情况的分析,提出了不同用地情况下 CDB 停车规划的原则和方法^[21]。

北京工业大学秦焕美、关宏志通过对属于典型混合用地状态的北京华贸中心的实际调查分析,分析了混合用地状态下的停车需求特点,建立了在土地开发状态为单一用途建筑物下的停车需求叠加模型和共享模型^[22]。

总体而言,对于混合用地状态下的共享停车而言,国外已经进行了较长时间的研究,其理论方法和数据积累都较为充分,但是由于国内外城市结构、土地开发方式、经济发展水平、居民生活习惯都不尽相同,因此国外的研究成果很大程度上不能够利用于国内

研究,国内对于共享停车虽然也进行了一定的研究,对于在设计和规划合理确定混合用地状态下的共享停车位数量起到了一定的指导作用。

1.3 停车行为和停车选择模型的研究

对于停车行为的研究,其实是对其需求产生最根本原因的分析,国内外都有大量的学者对其进行研究,研究主要围绕两方面展开:一方面大量从事建筑学和城市规划的学者从停车场空间环境、空间优化等角度出发进行研究^[23-25],另方面则是道路交通方面的学者针对于交通需求、商业建筑停车配建指标、停车行为和停车场布局规划等方面进行的研究。

综合来看,目前对于停车行为的研究主要集中于时间、停车费用、停车场服务质量等因素影响的分析。

关于停车选择模型的研究始于上世纪 80 年代末,随着信息技术和通信设施硬件的不断发展,有学者对于在获得较为完整停车诱导信息情况下的停车选择模型进行了研究,主要表现为 *Polak* 和 *Axhausen* 在 1989 年建立的 *CLAMP* 模型^[26]和 *Young* 在 1991 年,通过对欧洲若干大城市的大量停车管理政策、方式研究之后所建立的 *PARKSIM* 模型^[27],以上的模型均需要假定司机在停车过程中能够获得全面的停车引导信息。

日本的室町泰德等人在 1991 年进行了停车等待时间和停车场选择的调查,通过此次的调查数据结果的分析,建立了停车场选择模型,该模型包含有 6 个不同类型变量,模型被作者用来分析 *PGIS* 使用后的效果^[28]。

墨尔本大学的 *Russell G.Thompson* 和 *Richardson* 则通过定义驾驶者的分层次搜索过程,建立了出行者选择停车场的行为模型,论文打破了学者们在之前的研究中需要将驾车者的信息状态设置为“完整获得”的前提条件,通过估算可达性、等待时间、出口费用在内的效用值,利用排队长度和离开率两个主要参数,证明了车辆在选择停放目的地的过程中存在着非确定性,论文得到的驾车者停车选择集的组成和规模由停车场的自身内在情况决定也更加接近与现实情况。论文中利用 *Logit* 模型对于司机对于不同类型停车设施的的停放概率进行了估算,效用函数被设置为司机获得停车信息提示之后的行为顺序:进入、等待、离开等阶段的时间消耗与其权值系数的乘积之和^[29]。

2001 年, *Thompson*、*Takada* 和 *Kobayakawa* 在原有研究的基础上发展了新的停车选择行为模型。该模型对于驾驶者在看到信息显示板之后的目标函数进行了优化,采用

最小到达里程或者最小排队长度作为目标函数。文章还将利用简化的 GA 算法作为优化 PGIS 显示内容进行了研究^[30]。

Li 等在随机的时间导向交通网络中, 建立模型讨论了驾驶者对路径诱导和停车信息系统的反应, 分析了不同的驾驶者对诱导信息的不同理解^[31]。

Jyoti 等提出了一种自动停车诱导和管理系统, 自动采集停车场信息, 处理信息^[32]。

国内对与停车选择模型的研究主要起始于上世纪九十年代, 同济大学吴涛通过对上海的停车设施的实地调查, 提出了基于调查者最关注的步行距离、便利性、安全性、违规取缔严格度、收费及其它等六点停车决策属性, 并基于以上调查设计了停车阻抗的概念^[33]:

$$p_i(m, n, k) = st(m)vw_1 + qt(m)vw_2 + pf(m, k)vw_3 + ep(m, k)vw_4 + wt(m, n)vw_5 \quad (1.10)$$

式中

$pi(m, n, k)$ 为停车目的地为 n 的停车者在停车场 m 停放 k 分钟的停车阻抗;

$st(m)$ 为寻找停车场 m 所需时间;

$qt(m)$ 当 m 为路外停车场且无空位时的排队等候时间;

$pf(m, k)$ 在停车场 m 停放 k 分钟的所需费用;

$ep(m, k)$ 在停车场 m 违章停车 k 分钟受到的罚款;

$wt(m, n)$ 从 m 到 n 的步行时间;

vw_i 第 i 项指标的权重;

设 U_m 为停车场 m 的效用, $U_m = 1/p_i$

文中利用 Logit 模型来计算停车者选择停车场 m 的概率 P_m

$$p_m = \frac{\exp(U_m)}{\sum_N (U_m)} \quad (1.11)$$

哈尔滨工业大学的安实分析了停车行为的时空结构, 将停车看成一个由正常行驶和在道路两侧寻找停车位组合而成的过程, 论文将停车费用作为停车模型的着眼点, 建立了 Logit 模型分析停车费用对停车行为的影响^[34]。

北京工业大学的关宏志对于商业中心停车的停车利益分配提出了政策方面的建议

和设想^[35],北京工业大学肖青对于商业建筑在基于停车生成率的基础上提出了配建指标^[36],重庆交通大学李超对商圈的停车特征进行了详细的调研,对于商圈的停车生成率进行了研究^[37]。

北京工业大学刘兰辉对于北京市的几个主要商业区停车行为进行了研究,文中利用实际调查数据,建立了基于步行距离、停车费用、停车场容量、停车容量为变量的,平日和假日的二项式 *Logit* 地下停车场和地面停车的选择模型^[38]。

东南大学张钧利用实际调查对于停车特征进行了分析,利用 *Richard Arnott* 的停车行为模型进行了一个完整停车行为的分析,并利用 *Logit* 模型对于停车需求进行了预测^[39]。

北京工业大学姚胜永利用实际调查数据,以地下或者地上停车场、是否自己付费、出行目的和费用差为变量,建立了停车时段长度选择模型^[40]。

长安大学袁华智建立了以个人属性、家庭属性、车辆属性、出行属性为变量的 *Logit* 模型来对城市中心区的停车行为进行分析^[41]。

周智勇以停车者关心的 10 个指标为基础,通过模糊聚类分析,选择停放便利性、出行成本、驾驶者效益、停放成本、驾驶者停车偏好五个指标为约束,建立了“驾驶者最便利、可达性最高、出行停放成本最低”的智能停车选择模型^[42]。

严海针对特殊活动下的停车问题,考虑了特殊活动下小汽车驾车者的行为约束因素,建立了特殊活动下的停车选择模型^[43]。

季彦婕等提出了服务于出行前停车诱导系统的两阶段停车选择方法,通过建立在模糊偏好下的多目标停放决策模型,为出行者提供各种可能情况下停放决策方法^[44]。

文中将停车分为初选过程和组合选择两个过程,初选过程中主要考虑了影响停车选择的第一层次问题,包括步行距离和停车可行性两方面,在此基础上得出候选停车场的集合。

组合选择主要以停放便利性、步行距离、停放成本、停放安全性和可达性为优选指标,根据个人偏好,建立停车选择模型。

停车选择行为,究其实质是一种社会经济活动,驾驶员在选择停车目的地的时候,其心理变化也会对停车目的地选择产生极大的影响,因此在对停车选择模型研究的不断完善中,心理层面的因素被不断引入到研究中。

哈尔滨工业大学的王立志建立了更符合实际的“有限理性驾驶者”的停车选择模型,

根据贝叶斯更新模型建立驾驶员出行前及停车后的信息更新模型，描述驾驶员的信息更新过程^[45]。

畅芬叶以时间为平衡点的停车选择模型，通过在战略层和战术层构造智能体，利用仿真软件对停车选择进行模拟和仿真，仿真设置了若干场景，用来评价停车管理政策、措施的效果^[46]。

1.4 目前停车研究存在的问题

总体来看，以为美国为代表的国家，由于在城市发展中侧重于城市土地功能严格分区的规划方针，土地使用性质单一，更适合于基于土地功能的预测模型，而在国内，尤其是商业中心，更多时候处于土地混合使用的状态，上面章节提到的共享停车研究虽然具有较高的实际价值，但其依然是基于土地功能的一种研究方法。总的来看，目前进行的关于停车的研究中，还存在以下不足：

1. 目前的停车模型虽然种类较多，但是基本上仍然是基于土地性质和土地供给角度进行分析，对于需求一方，也就是停放者一方很少进行考虑。对于商业中心而言，当停放者处于消费休闲的状态时，究其实质完全是消费者的角色，其行为更倾向于从消费者角度去选择停车位置。在文献综述里所提及的已进行的停车调查中，虽然对于所选择停车场是否为首选停车场进行了调查，但是对于驾驶者如何选择首选停车场的原因没有进行调查。

国内目前对于商业中心停车研究，更多关注于停车费用或者考虑停车后步行距离等因素对于停车选择的影响，而对于消费者停车的根本目的基本未做考虑。实际上，目前很多购物中心为了招揽顾客，都采取购物后免收一定时间段停车费的措施，或者出于竞争考虑，各家商户对于提高停车费用较为顾忌，因而同一片区停车收费标准基本接近，此时，停车费用对停车选择并不产生直接影响，而消费者在进行消费时更多着眼于从自身效用最大化进行停车选择，这其中停车费用所产生的影响往往并不是主要因素，消费者主要从包括停车后所获得的购物消费体验等方面考虑停车目的地。从这个角度出发，商业中心中商户的业态组合就成了至关重要的问题。一般而言，城市综合体或者是大型购物中心，由于各消费业态间的高度聚合，大大提高了消费者选择可能，其停车需求较单一业态更为旺盛^[47]。

另外由于商业开发上存在着明显的聚集效应，大量商户在商业中心聚集，引起城市

空间结构的变化,并最终导致乘数效应出现,停车需求不再是与各类型土地面积的简单的线性关系,而是乘数关系或者双乘数的关系,停车需求被急剧放大^[48]。

总而言之,停车位提供方与消费者消费欲望是否吻合,才是消费者选择在该处停车的最终原因。

2. 同一个商业中心,微区位不同的商户,其对消费者的吸引差别是巨大的,究其原因主要还是微区位对消费者的选择所产生的影响。对商店的布局来说,交通往往起着决定性的影响,每个商店为了尽量获得更大的服务范围从而获得更强竞争力,都会设置在交通条件较为便利的区域。由于交叉口或者交通节点是人流的集散点,人流量最大,所以一般而言,商店都会选择在主要结点布局来扩展其服务范围,而将零售业布置在交通节点附近,还能够更加迎合现代社会中普遍存在的消费者多目的出行倾向,将能够吸引更多的消费者,使其在以其它目的为主的出行中能够更为便利地完成购物,同时兼顾方便和效率。

根据白光润的研究,距道路交叉口 100m 内的商业面积占区域商业总面积的 85% 左右,距公交站点 50m 范围内的商业面积占总面积的近 55%,而且零售商业面积以交通节点为中心呈距离衰减趋势,而且随道路交叉口的距离衰减趋势相当明显^[49]。张伟对北京燕莎商城三家连锁店微区位的研究,也发现微区位对其经营有很大的影响,并且提出商城应尽量接近道路节点,商城临近道路都应该有方便进出商城的出、入口,而且如果停车场到商城距离超过 45m,商城有失去顾客的可能^[50]。

在目前的停车需求研究中,即使考虑区位对停车需求的影响,也往往局限于城市宏观层面进行,在宏、中观区位相同的情况下,微区位差别往往不被重视。

3. 目前的停车选择模型主要采用假设消费者完全理性的期望效用函数或者部分理性的前景理论进行建模,但是实际上消费者每一次出行之后,都会对其此次出行的效用依据自身的情况进行评价,评价不仅仅是停车是否顺利,更包括停车后购物休闲的感受,因此,每个停车场在消费者心中其效用是不停变化的,若采用一个固定不变的效用函数作为停车选择模型与实际情况有所偏离。前景理论则必须建立一个明确的平衡点,目前的研究平衡点基本上都以出行或者停车消耗的时间为基础建立,由于出行和停车的复杂性,平衡点的时间消耗存在难以计算的难题。

4. 在目前的停车预测模型中,消费者的个人特质体现并不明显,或者被完全忽略,这种情况在对一些诸如商务活动、酒店宾馆、医院学校等进行分析时影响有可能并不很

大,但是作为商业中心来说,消费者个人特质对于停车需求的影响会极为明显,消费者年龄构成、收入情况、家庭生命周期、性别、对停车等待的忍耐度等等都会对停车地点选择产生影响。

5. 根据克里斯泰勒的中心地理论,一个城市的商业空间呈现等级结构,商业中心在城市商业结构中所处的等级决定了商业中心承担的职能、服务面积和消费者在一定周期中的光顾次数和消费者的花费额度。商业中心级别越高,其服务范围越大,消费者光顾频率越低,每次光顾消费额越高。目前的停车预测对于这方面很少进行考虑,部分文献考虑了区位对停车的影响^[51]。例如同济大学的王曼采用区位势对停车配比进行量化描述,但是区位势本身的量度指标往往和停车需求之间并没有直接关联,而且所采用的区域 GDP 或者销售额、手机信令很难获得,在实际操作时有一定难度^[52]。

6. 目前在进行建筑物交通影响分析的时候,基本以传统的四阶段法进行,拘泥于所分析的建筑物单体对于附近路段可能引起的交通影响,虽然很多研究也针对四阶段法的缺点进行了改进,如北京工业大学王根城针对传统四阶段法中缺点,增加了可达性表达和土地混合利用率的指标以及土地开发后对交通影响的回馈,但是四阶段法存在的根本问题:未来城市建设、土地开发、商业业态调整等动态变化,仍然在预测过程中无法得到解决^[53]。

1.5 论文主要研究内容和目标

消费者在一次购物行为当中,可以分为两个大的决策过程:

宏观出行决策阶段和微观停车决策阶段。

所谓宏观出行决策阶段是指:消费者会根据自身生活或者休闲需要产生购物需求,此时消费者主要面临的选择是如何在多个商业中心中选择一个对自己最有利的目标作为目的地。

微观停车决策阶段是指:消费者达商业中心后,消费者依照自身效用最大化来决定其活动行为,消费者对于停车地点的选择只是其自身效用最大化的一个表面结果。在这个过程当中,商业中心中各商户之间、消费者与商户之间,处于一个相互影响和互动的过程,在这个过程中,城市地理特征、规划及现状土地利用状态、城市交通方式、经济、居民文化传统、习俗等众多因素相互影响,形成了一个极为一个复杂的、动态的系统。消费者对停车地点的选择直接演化成为一个按照自身效用最大化下的一个寻优的过程。

论文通过建立 *Multi-Agent* 的方式，从宏观、微观的层次，建立能够反应城市的空间结构、区域的人口特征、描述消费者较为复杂的行为、较为客观地反映消费者在购物活动中选择停车场的模型。模型由三方面因素构成：消费者、商家、固定的边界条件（各商户的位置、规模，道路等）。三者之间相互作用，形成一个复杂的系统。

论文主要研究内容集中于以下几个方面：

1. 消费与消费行为和城市空间结构的关系的分析

消费和休闲作为城市居民重要的生活组成，其行为受到城市空间的影响，同时居民的消费行为也会对城市空间结构的演化形成巨大反馈，本论文通过对消费定义的分析、消费行为的主要影响因素、消费空间结构对消费行为的影响，找出对消费行为可能产生影响的各种因素。

2. 建立消费者 Agent 微观数据获取方法。

本论文中消费者被抽象成为具有一定智能性的 *Agent*，每个 *Agent* 的微观数据包括个人信息和偏好信息两部分。个人信息主要包括性别，年龄，收入，婚姻，学历等。偏好信息在本论文中则主要针对停车方面制定，影响的主要因素为产生停车等待之后的最大停车等待接受时间。

消费者 *Agent* 微观数据获取的难点在于所构建的 *Agent* 如何较为准确地反应商业中心所在区域消费者的年龄、收入、教育程度、婚姻等属性，这些数据的获取可以通过实地调查获得，或者根据一些常识性的规则（如 18 岁以下不会结婚）获得，但是由于现实中调查数据往往会呈现碎片化，获取存在一定难度或者调查的样本量不能满足数量上的要求，因此论文采用官方发布的人口统计数据来对消费者 *Agent* 微观数据进行反演，对于 *Agent* 的各项属性，通过人口统计数据结合一定的分布规律加以获取。

3. 基于城市空间结构的消费者期望效用模型的构建

在本论文中，消费者初始停车选择原则设定认为遵循消费者完全理性化的假设，即消费者在第一次进行的消费出行中，遵循期望效用最大化原则，即：商户业态能够满足购物目的，商户拥有较多的停车位，营业面积较大，业态组合最完整，位置上位于整个商业中心最核心的地区。

消费者在第一次出行时，首选购物中心采用 *Logit* 模型计算概率：

$$P_{in} = \frac{\exp(V_p)}{\sum_{m=1}^N \exp(V_m)} \quad (1.12)$$

函数中主要变量除了年龄、性别、收入等消费者个人特质变量，还包括包括：商户营业面积 S 、是否具有混合功能 M 、停车位数量 N 、商户距离商业中心核心区距离 D ，以及是否有停车优惠 P 等反应商户城市空间特性的变量。

4. 建立停车场停放状态的预测模型。

停车场状态是个随着时间不断变化的过程，是时间序列预测问题的一种，移动平均法，分解法，季节法，卡尔曼滤波法， BP 神经网络法都被用于停车场状态预测。

本论文采用了基于小波变换的 $ESLDM$ 算法对停车场的有效泊车位时间序列进行异常波动数值剔除的预处理。首先，小波分解将停车场状态分解为高频和低频两个部分，随后利用 $ESLDM$ 算法，将高频中的离群数据进行剔除，避免了偶发状况对于数据的影响。

利用上述经过预处理的数据，论文使用小波神经网络，建立起了停车场的有效泊车位数量的预测模型。

5. 利用基于模糊偏好下多目标决策的方法，建立能够反应消费者受到停车等待时间和购物中心两因素综合影响下、描述其经多次停车体验之后心理变化的停车选择模型。所建立的模型既能够反应消费者每次停车以后因步行距离、停车等待等因素而产生的对停放地点动态评价的影响，也能将购物中心因素的影响包含其中。

6. 模型实现和特定场景模拟

基于上述研究所建立的模型和方法，论文通过编写程序，通过建立的双层次决策智能体 $Agent$ 模型，模拟了五个特定场景下消费者 $Agent$ 停车选择的变化过程，在对 10000 个和 20000 个 $Agent$ 在经过多次停车行为进行迭代模拟之后，对模拟所出现的情况进行了分析，经过分析，论文认为消费者在停车的过程当中存在着“相对效应”、“极化效应”和“自平衡效应”。

1.6 论文的研究技术路线

本文通过对消费者行为和城市空间结构相互关系的分析，利用消费者微观数据获取方法以及 $Logit$ 模型、小波分析和模糊偏好下的多目标决策方法，以消费者停车选择为研究对象，建立了停车场有效泊位数的预测模型，利用双层次决策智能体 $Agent$ 实现了在不同场景下的基于消费者行为和心理层面变化的停车选择变化过程的模拟。所采用的

研究方法既有规范性的理论建模，也包特定情境的模拟分析，研究过程以定性分析与定量数据相结合的方法进行。论文的技术路线如图 1.1 所示。

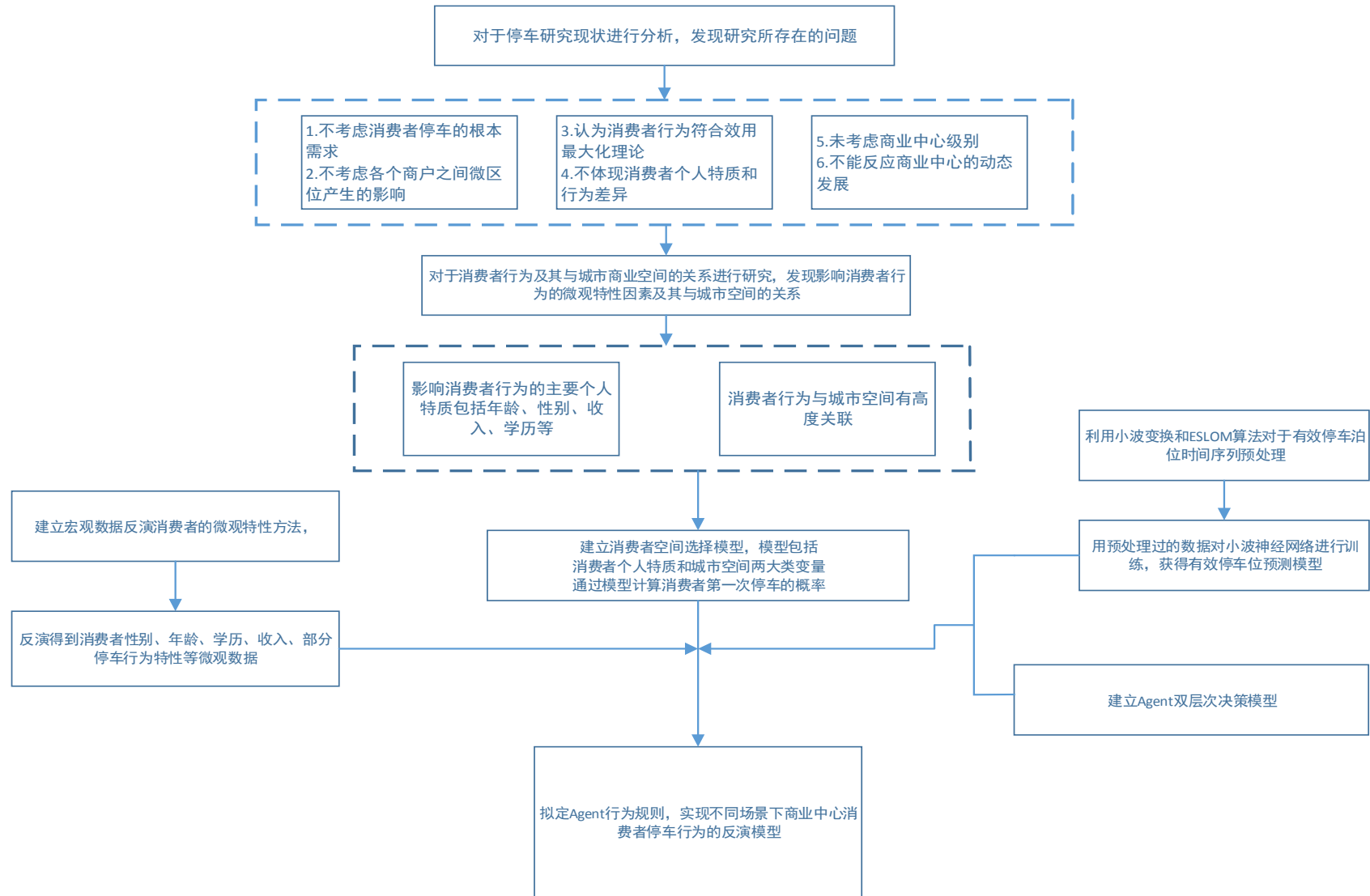


图 1.1 研究框架与技术路线

第二章 城市空间结构与消费者行为

2.1 消费及消费的分类

2.1.1 消费的定义

根据《中国大百科全书》的定义，消费是指“人们为了满足生产和生活的需要而对物质资料的使用和消耗”^[54]，《当代消费经济词典》中指出，消费是“人们在物质资料和劳务的生产与生活中对物质产品和劳动力的消耗过程”^[55]。

从上面对于消费定义可以看到，广义概念上的消费应该涵盖“生产消费”和“生活消费”。生产消费是在物质产品的生产过程中消耗物质资料、劳动力的过程，它是一种中间消费过程，生活消费则更多的着重于强调消费者物质、精神生活上的满足和需要而对用各种物质资料、精神产品及劳务的使用和消耗过程，生活消费是一种最终消费，也就是马克思所说的“原本意义上的消费”。

社会学认为消费是一种连接起了经济、文化的社会活动，是经济生活、文化生活与社会生活的连接点和汇集地，正如 *LeeM* 所认为的，消费既是经济领域与日常生活领域进行交换和沟通的渠道，也是“资本与日常生活实践相结合的领域”^[56]。在社会学者对于消费行为的研究中，消费者的文化、社交和社会生活行为往往被作为主要的关注因素，而在消费者行为学和营销学的研究中，消费者行为则通常被定义为一个强调消费者消费体验的动态过程、消费者主观意识以及行为与行为发生地的环境之间的交互影响的结果。而从行为科学的视角来看，消费生活则是由于人们获取、使用、处置消费物品或服务等一系列行为而构成。消费者行为研究的根本目的就是对于影响消费者消费行为的各种因素之间的相互作用关系进行分析，从而对于消费行为进行理解和解释。

2.1.2 消费的分类

根据消费主体的不同，生活消费可以分为“个体、家庭消费者的消费”和“组织消费者（政府、事业单位、团体组织等）的消费”。个体消费者的生活消费又分为两种，一种是个人形式，即个人在城市空间中单独消费一定的对象，称为“个人消费”，另外一种是社会化的形式，即许多消费者在同一时间、同一空间，集体性、有组织地消费同一消费对象，称为“共同消费”，人们对大型城市公共设施的消费就是典型的共同消费。

根据消费主体取得消费对象的方式不同,个体消费的生活消费又分为自给性、商品性和福利性消费。商品性消费是市场化消费,消费对象是货币购买的商品,必须通过市场交换获得。自给性消费和福利性消费正好相反,是非市场化的消费方式,自给性消费指消费主体以自己生产的产品直接满足个人和家庭的需要,它与自给自足的自然经济相结合,是传统的消费方式。福利消费则指消费主体获得的消费对象既非通过货币购买,也非自己生产,而是由国家、社会团体或者居民个人无偿提供而来,如国家免费为居民提供的社会公共消费品,救济性生活用品就是典型的福利消费。

本论文对于消费进行详细解析,主要是因为城市空间中消费无处不在,从对城市公共设施的免费使用到在市场中购物,本质上都是在消费。在一般概念中,“消费”往往与付费联系起来,认为付费就是消费,虽然私人消费正是商品性消费,消费往往意味着付费,但是不付费并不意味着没有消费,往往此时进行的都是社会公共消费。

本论文将研究的“消费”范畴定义为生活消费而非生产性消费;其次,就消费主体而言,是以个体、家庭为消费主体的个人生活消费。

2.1.3 现代消费

从前面的论述中可以看到,消费被定义成为“对物品和劳务的最终消耗”,从字面来看,消费仅仅是一个与生产相对应的概念,是一种经济行为,但是现代社会学和文化学的大量研究表明,现代消费过程是个社会行为和文化形态,它具有丰富的内涵,并与其他非消费要素相互交织,相互影响,产生了复杂的联系。

(1) 现代消费的发展——从大众消费到后现代消费

工业革命带来了的生产与消费的明显分离,社会上大多数人通过市场购买消费其他人生产的产品,这标志着“现代消费”的产生,消费成为“经济活动链条上的最后一环”,与资本主义生产产生密切联系^[56]。

虽然现代消费产生于大众消费之前,但是它却是和大众消费结合向全社会扩散,从而使消费的含义有了全新的演变。二十世纪初,规模化,标准化的福特主义生产方式带来产品的极大丰富和工资的极大增长,创造了史无前例的大众消费模式,大众在个人消费中充分获得个人愉悦,这一方面标志着消费对经济发展的作用力进一步增强,成为再生产的关键条件,另外一方面也标志着超出基本生活需要的、更带有社会和文化象征的消费从贵族、资产阶级走向平民化。

1960年代之后,西方社会从工业社会走向后工业社会,进入后现代时期。以后福特

主义生产方式取代了福特主义的生产方式，创造了刺激、控制和引导消费的更多的形式，将现代消费推升到一个新的阶段。后福特时代的最大特征是由被动适应消费需求转为积极制造消费需求、引领消费时尚，辅之以现代传媒的大量复制、传播，于是在后现代消费时代，消费的物质性进一步减弱，文化和社会象征性进一步增强，人们所消费的不再是消费品本身，而是其象征意义，消费品的意义也不再是与生俱来的，而是被刻意生产和塑造的，后现代时期的消费在趋于非物质、象征性的同时走向了符号化，大众所消费的是消费品随机拼贴的社会文化符号，符号体系的产生、操纵消费趣味与消费时尚有着越来越重要的影响。

现代消费的发展过程，是消费逐渐远离生物因素驱动而具有经济性和文化、社会象征意义的过程，更是为拉动经济增长，其文化和社会象征意义走向符号化的过程。在这一过程中，消费的复杂性逐渐积淀：一方面，其自身的内涵不断扩展，具有经济、社会、文化多重内涵；另外一方面，也逐渐走向开放，与现代社会演进其他非消费因素的相关性不断增强，这两条线索相互作用，构成了现代消费独有的特征。

（2）现代消费内涵的扩展

1. 现代消费的经济内涵—消费是社会经济发展中对生产力的主要拉动力。

现代消费和传统消费之间最根本的区别在于消费成为社会经济运行过程中一个不可或缺的环节，能够促进或者阻碍生产发展，现代消费从诞生之日起就具有了经济内涵。现代消费成为拉动生产的主要动力不仅带来了生产方式的转变，也使消费者的个人消费需求由自然产生的需要，被转变为有意识刺激甚至是积极制造出来的欲望。

2. 现代消费的社会内涵—消费作为创造个人身份、构建自我认同的方式

进入后现代消费时代，个人在社会脉络的经验以及“自我”与“他者”意义之间出现了更明显的断裂，认同被认为是短暂无常的，这种认同危机促成消费者在认同的规范和结构上扮演了更为重要的角色，1970年之后的新型消费者将消费对于个人身份的创造和认同的构建上升到了更高的层面，那就是完全以消费塑造自我的生活方式并进行自我的表达。“把物品、衣服、行为、体验以及全身的设计融合在一起，形成一种生活方式，以此彰显自己的个性和对风格的感悟”^[57]。

现代消费作为创造个人身份、构建自我认同的主要方式，为人们脱离阶层基础，重新调整社会关系、创造共同身份提供了可能。

3 现代消费的文化内涵—消费是具有文化意义的实践活动

现代消费的文化内涵一方面源自于消费品自身的文化意义,另外一方面也源自于消费者逐渐脱离物品本身,转向具有文化目的使用上述文化意义,消费品即具有实用性,也是一种“信息系统”,是一种物质文化。这意味着消费品本身既是文化的载体,一定的消费品总是体现着一定的文化内涵,具有文化的表现和传播功能^[58]。

(3) 现代消费与休闲

当代社会既是一个消费社会,也是一个休闲社会,对于大众而言,休闲是生活的重要组成部分,享受休闲被认为是现代生活的必要权利,消费与休闲这两个对当代社会产生这显著的影响因素之间出现了密切的关联。

所谓“休闲”,是指在工作和个人社会活动需要的必须时间之外的“闲暇”时间,“闲暇”时间往往与日常需求无关,而且活动范围更多处于职业、家庭、社会义务之外,其最大特征是能够按照自己的意愿进行,也就是说,休闲是人们为了追求个人生活质量所自由选择的,而不是类似于睡眠、饮食等高度常规化的活动。

休闲与消费的关联可以追溯到现代消费的诞生时期——工业革命时期,在生产与消费明显分离,现代消费诞生的同时,工业革命也造就了工作与休闲的分离,工厂制度不但使工作、休闲出现了明显的界限,休闲自身也被合理化,它给人们提供了难以从工作中获得的兴趣和成就感,随后兴起的福特主义生产方式为休闲和消费提供了共同的土壤,生产效率、生活水平的提高催生了现代周末、节假日和带薪休假,为人们提供充分的闲暇,这既鼓励了现代消费的大众化,也带来了休闲活动的普及化。

休闲与消费的诞生、发展遵循着一条共同的线索,二者相互交织,相互联系成为一种必然,一方面休闲本身日渐趋于消费化,不再是物质匮乏时代那种私人性的、时间上的消遣,也不再局限于散步之类的简单自我供给性活动,人们的休闲越来越通过消费得以实现,以消费支出的形式得以满足,新的休闲产品也都不断被制造出来,另外一方面,消费也日益趋向于休闲化,消费本身成为一种休闲方式,随着现代消费日渐脱离基本生活需求,变成获得快感的过程,它与放松心情、张扬个性、充分体现自我意识的休闲活动中的感觉有了一致性,于是消费成为城市中最主要的休闲活动,是人们渡过闲暇时光的最好的方式。

2.2 关于消费者行为的研究

消费者行为在一般狭义范围上的定义是指:消费者的购买行为和消费资料的事实消

费；而从更广的范围上来说，则可以看作是消费者为获得、消耗、处置所消费的物品而采用的各种行动，以及在這些行动之前或者之中，对这些活动产生决定作用的决策过程。

消费者行为被认为是一种较为复杂的过程，具有经济、社会、文化、心理和空间等多层次的内涵，西方国家对于消费者行为的研究开始较早，获得了丰富的研究成果，对于消费者角色的认定，大体上经历了一个逐渐经由“经济人”转变为“概率人”、由“满意人”转变为“社会人”、“生态人”的角色转变过程。

在上世纪 60 年代之前，对于消费者行为研究都将消费者假定为个体行为在经济上是完全理性的，在空间上是恒定不变的，即上文提及的“经济人”，莱利提出的“零售引力法则”与克里斯泰勒提出的“中心地理论”都是以此类假设为基础建立的。

20 世纪 60-70 年代，随着行为地理学的发展，消费选择和决策模型方面产生了开创性的研究局面，以消费者为直接研究对象形成了研究热点。最为典型的就是 *Huff* 的概率模型和 *Wilson* 的以熵为基础的模型，*Huff* 通过对美国主要城市的调查，认为消费者不会始终选择唯一的购物中心进行消费，而更多地应该用“概率面”来对消费者行为进行描述，从而来取代过去以中心地理论为基础的、认为消费者与中心地之间存在决定性的模型，即上文提出的“概率人”，*Huff* 将研究模型从决定性分析转为了概率型分析。

20 世纪 70 年代开始，消费者研究逐渐将消费者行为作为空间模型中一个有意义的变量开始出现，人们意识到购物中心所存在的双重性的特点：即购物中心具有客观物质存在和主观感知存在两个方面，这一时期对于消费者行为的研究已经突破了中心地理论，而且研究认为消费者所具有广泛非理性的、经济的、与城市空间结构紧密联系的行为，这个时期，消费者被认为具有“满意人”的特质而进入研究体系。

从上世纪 80 年代开始，各国对消费者行为的研究都呈现出了一些较为显著和一致的特点，研究者逐渐倾向于从多学科角度对消费者进行观察，更加重视对于个人而非群体或者组织进行研究；强调消费者对于环境的主观认识与客观环境之间存在着各式各样的差别；认为环境与人之间存在密切的相互影响的关系，消费者在影响环境的同时，也受到环境的反作用。

国内对消费者行为的研究起步于 20 世纪 80 年代后期，主要研究内容局限于宏观层面，研究主要基于中心地理论展开，消费者行为作为商业中心发展和变化因素被纳入，对消费者行为的正面研究较少。

2.3 消费者属性对消费行为的影响

购物消费活动空间结构描述的是消费者购物活动出发地与目的地之间相互作用最直接的空间关系,购物出行的空间结构不但能够说明消费者对不同等级商品购买时出行的空间特征关系,同时也反映了该地区商业设施的配置情况。国内众多学者对此进行了调查和研究,例如:柴彦威在《城市空间与消费者行为》、《中国城市的时空间结构》、《上海居民购物行为的时空间特征及其影响因素》等论文和专著中对于中国的典型城市消费者行为与城市空间的关系进行了研究^[59]、仵宗卿对于天津市的购物出行空间的等级结构进行了研究^[60]、庄贵军则对于西安与香港两城市间购物中心顾客行为进行了跨地区比较研究^[61]、王德对于北京王府井、上海南京路、苏州观前街的消费者行为与城市空间的关系进行了分析与研究^[62]、马静对于北京市居民休息日与工作日居民购物时空间决策因素及差异进行了比较研究^[63]、张文忠^[64]、舒桐^[65]、焦华富等对于兰州、西安、芜湖等地消费者进行了研究^[66],以上文献认为消费者的以下几点个人特质对于消费行为产生影响:

2.3.1 性别的影响

从中国情况来看,男性和女性分别承担了不同的家庭角色和社会角色,女性更多承担了家庭购物代理人的角色,承担了为孩子、丈夫代买的责任,因此女性通过自己承担远距离出行的成本,而让家庭成员共同分享购买到价廉物美的产品所带来的收益。

具体到不同类型的商品,如表 2.1 所示,男性和女性在购物活动空间上存在着一定的性别差异:在选择购买蔬菜和食品类商品上,男性趋向于选择区级购物圈的大型超市或者综合商场,而选择社区购物圈的比例较女性低;服装类商品女性较少在区级购物圈购买,更多倾向于市中心购物圈,而且购物目的地更为多样化和随机化,其购买动机也更为主动和灵活,非计划性购物更为普遍;对于大型家电类商品,由于经常是一种夫妻同时参与的活动,因而没有产生性别上的差异。

张小英对于不同性别间在购物中心的行为进行的研究揭示了相对微观场景下男女之间的行为差异,相比较而言,女性消费者的购物指向性更强,男性消费者则体现出更多的目标性;在逗留时间上,女性更多选择“半天时间”的长度,而男性则要短很多,基本上都在一小时之内;在对主要购物偏好上,女性更注重商品类型、潮流时尚、档次等,男性则主要注重购物环境、交通便利等外部环境^[67]。

表 2.1 购物行为空间的性别差异

		蔬菜食品类	日常用品类	大型家电类	高档服装类
上海市	男性	0.987	1.854	3.610	4.827
	女性	0.991	2.382	4.013	5.448
深圳市	男性	1.226	2.455	6.392	6.922
	女性	1.179	2.480	5.794	7.067

数据来源：北京大学 柴彦威 《城市空间与消费者行为》 数据单位：公里

表 2.2 男女性消费者在购物中性停留时间差异

			在购物中心停留时间				总计
			一小时 以内	1-2 小时	半天时间	超过半天	
性别	男	count	22	101	44	9	176
		Percent	12.5%	57.4%	25%	5.1%	100
	女	count	6	116	80	15	217
		percent	2.8%	53.5%	36.9%	6.8%	100%

数据来源：广东社会科学院 张小英《购物中心消费者行为的性别差异研究》

2.3.2 年龄的影响

年龄直接决定着消费者个体的身体状态、个人移动特点，同时也与其在社会中所扮演的角色、经济收入、社会地位有着密切联系，因而年龄的影响表现在消费行为上的时候，会体现为不同年龄的人群在消费行为、观念上的明显差异，根据柴彦威对上海居民购物行为所做的调查，除蔬菜食品类商品购物外，30-40 岁之间的中青年居民的购物活动呈现明显的广域化特征，日常类商品购物出行比青年居民（20-30 岁）远约 0.4 公里，大型家电类商品购物出行比青年居民远约 1.7 公里，高档服装类商品购物出行比中老年居民（50-60 岁）远约 1.8 公里，由于这一年龄段居民往往处于事业上升期，时间对他们来说是最重要的资源，因此购买日常用品会出行到社区级购物圈以外的大卖场一次性购齐商品，对于购买高档服装而言，这个年龄阶段的居民在工作中一般处于中上层位置，有能力也更倾向于远距离出行购买高档服装^[68]。

表 2.3 表示了深圳居民的出行空间的年龄差异。青年居民购买不同类型的商品出行距离差距较小，相对而言，青年居民低等级商品购物出行距离较远，高等级商品出行距离较近。

中老年居民购买高档服装出行距离最近，由于这一部分消费者接近或者已经退休，高档服装意义相对较弱，他们更看重附中本身的质量，而且对价格比较敏感，因此更倾向于近距离出行以减少出行成本。对于食品蔬菜等商品，则更倾向于在居住地附近传统菜市场购买。

表 2.3 深圳市居民购物活动出行的年龄差异

	蔬菜食品类	日常用品类	大型家电类	高档服装类
青年	1.4	2.5	6.7	6.6
中年	1.1	2.5	6.8	5.8

数据来源：北京大学 柴彦威《城市空间与消费者行为》

数据单位：公里

2.3.3 收入的影响

收入作为消费必须的物质基础，是消费者的购买能力与其社会地位的重要衡量参数，收入通过居民居住差异反映在购物空间活动上，高收入居民购物空间压缩而低收入居民购物空间拉伸，城市居民购物活动空间差异正是消费者经济能力差异在空间上的投影，由于高收入居民有能力占领城市中有利的空间，所以不需要付出更高的出行成本进入高等级商业中心，而低收入居民如果要进入这些购物空间则需要付出更高的成本。

表 2.4 深圳市不同收入消费者的购物行为空间

	蔬菜食品类	日常用品类	大型家电类	高档服装类
中低收入	0.9	2.4	6.8	5.3
中高收入	1.0	2.3	6.8	6.3
高收入	1.6	2.7	6.6	6.7

数据来源：北京大学 柴彦威《城市空间与消费者行为》

数据单位：公里

2.3.4 受教育水平的影响

从不同学历居民的消费出行距离来看，教育水平对低等级商品购买活动影响较小，而低学历居民购买高等级商品的活动空间明显大于其它两类居民，对于大型家电的购物出行，低学历居民比中等学历和高学历居民出行范围更远，对于高档服装类商品，低学

历居民也比其他类型居民出行距离更远。

表 2.5 上海市不同学历消费者的购物出行空间

	蔬菜食品类	日常用品类	大型家电类	高档服装类
高学历	0.98	2.09	2.96	4.83
中等学历	0.95	2.21	3.69	5.09
低学历	1.08	1.98	5.39	5.92

数据来源：北京大学 柴彦威《城市空间与消费者行为》

数据单位：公里

2.4 购物消费行为的决策机制

决策过程是在有关信息条件下引起的思想动机的外在转换，作为决策主体的个人由一系列自身特性（如生理能力、思维能力、价值观）、结构特征（年龄，家庭生命周期，职业等）、社会文化背景、居住空间特征（居住区位等）组成，当个人受到外围环境变化或者需求变化的刺激而采取行动，就会产生一个决策过程。消费者的行为决策过程同样适合于这一理论。

根据 Golledge 的分析，消费者决策过程可以认为是如下的一个较为结构化的过程：

在各种因素、背景作用下，消费者作为空间决策的主体，当受到特定的消费刺激以后，便会开始对消费空间信息开始进行搜索，在逐步经历消费空间感知、消费地选择等阶段，最终完成消费空间决策过程。消费者在对消费地点的空间决策过程中，一般会考虑不同消费品类型在获得时所存在的空间不同，更要将不同商业中心的影响纳入考虑范畴^[69]。国内很多学者对于消费者购物时对于消费场所的决策因素研究进行了研究，比较具有代表性的学者有：柴彦威、翁桂兰、龙韬、沈洁等对于深圳、上海、北京的消费者进行的研究^[70,71]，刘爱文对兰州的消费者进行的研究^[72]，马燕对于乌鲁木齐的消费者进行的研究^[73]，焦华富对于安徽芜湖的消费者进行的研究^[74]，周素红对于广州的消费者进行的研究^[75]，由于研究时间不同，地区经济发展程度不同，各个城市空间结构不同，各个城市的消费者的购物决策因素不尽相同，但是在影响消费者决策两个基本因素—购物信息来源和购物空间决策因素上，各个城市消费者呈现出较为一致的倾向。

2.4.1 购物信息来源

消费者对于所需要的信息进行搜索，一般而言都在购物决策的开始阶段，消费者所需要搜集的内容一般包括欲购买商品的消费地的信息，消费者对于信息的主要收集渠道

包括内部搜寻和外部搜寻两类，决策主体的经验积累被认为是主要的内部搜寻方式，外部搜寻则主要是指通过相互交往、各类媒体所获得的信息。信息搜集会一直进行到消费者认为已经得到足够的信息量来进行决策为止，对于购买不同的商品，需要获得的信息数量与质量也不尽相同。

（1）消费者对不同商品购物地的信息来源一般具有以下特点：

个人经验信息一般而言是最大、最可靠的信息获取渠道，但是其重要性与商品等级的上升成反比。经验信息是居民购物决策的主要信息来源，在不同类型的商品购买决策中都有着较大的比重，可以确定购物行为具有很大的惯性和习得性。从商品类型上来看，商品等级越低，购买活动发生频率越高，就越容易形成固定的行为^[76]。

（2）媒体信息的影响力随着商品等级上升而增强

居民对于媒体信息的依赖相对个人经验和人际交往而言并不是很强，但是随着商品等级的上升，媒体对于居民购物活动决策作用明显增强，广告宣传对于影响居民购买高档商品决策影响明显增强，网络信息的比重也随着商品等级上升而增加。

表 2.6 深圳市民不同类型商品购物选择的信息来源

信息渠道类型		蔬菜食品类	日常用品类	高档服装类	大型家电类
总回答样本人数		265	249	228	224
个人经验信息	本人经验和亲自考察	193	160	146	134
	家庭成员	87	89	66	74
人际交往	邻居	79	54	53	41
	亲戚朋友	61	71	78	71
大众媒体	广告宣传	76	82	82	99
	网络信息	36	44	44	60
	其他	7	3	0	1

数据来源：北京大学 柴彦威《城市空间与消费者行为》

表 2.7 兰州市民不同类型商品购物选择的信息来源

信息渠道类型		蔬菜食品类	日常用品类	高档服装类	大型家电类
总回答样本人数		204	231	188	178
个人经验信息	本人经验和亲自考察	83	70	50	43

人际 交往	家庭成员	42	40	13	10
	邻居	20	23	14	10
	亲戚朋友	23	42	39	20
大众 媒体	广告宣传	18	35	43	65
	网络信息	8	16	20	19
	其他	10	5	9	11

数据来源：西北师范大学 刘爱文《兰州市居民购物行为的决策因素》

表 2.8 西安市民不同类型商品购物选择的信息来源

信息渠道类型		蔬菜 食品类	日常 用品类	高档 服装类	大型 家电类
个人经 验信息	本人经验和 亲自考察	52.3	54.1	50.1	49.1
	家庭成员	42.9	34.7	24.3	29.1
人际交往	邻居	15.7	12	10.4	10.9
	亲戚朋友	18.9	23.5	25.9	25.1
大众媒体	报纸杂志	15.5	17.3	24.3	22.4
	动态媒体	34.9	42.1	47.5	55.5

数据来源：西北大学 舒桐《西安城市居民购物行为特征及决策机制研究》

2.4.2 购物消费场所的空间决策因素

影响不同类型的商品购物空间的决策因素很多，可以归结为：可达性因素、商品因素、服务因素、消费心理因素等。可达性因素是指消费者到达目的地的方便程度。商品因素是指购物地点所提供的商品的特点，包括商品数量、质量、价格等。服务因素主要指购物地所提供的配套服务，主要包括服务质量、营业时间、停车配套等因素。消费心理因素是消费者对于购物目的地的心理认同程度，包括氛围、知名度等等

各个城市消费者空间决策因素可以基本上归纳为以下几点特征：

（1）不同类型的商品购物过程中侧重决策因素各有不同：购买等级较低的商品，消费者更注重可达性，距离近，交通方便直接决定该类商品的购物行为的发生，但是随着购买商品等级的提高，居民更注重设施配套完善、知名度高的购物地点。

（2）商品等级越高，对于可达性要求都呈现出降低的趋势，也就是说当消费者购买高等级的商品时，对于出行的时间成本和交通成本较为不敏感。

（3）商品价格逐渐升高时，对价格的高低和商品种类多少的重视程度出现下降，

对商品质量要求逐渐增强，也就是说消费者越来越重视商品自身的质量，而对商品的价格逐步降低。

(4) 服务质量对于不同的商品都成为重要的决策依据，这种因素会随着居民收入水平提高而逐渐强化，随着商品等级的提高，对于心理范畴的知名度的影响也逐渐增加，习惯性因素随着商品等级提高而逐渐降低，这主要是由于商品自身成本的提高使得消费行为更为合理化，个人习得行为主要发生在成本和风险较低的时候。

2.5 消费活动系列化与空间相关性分析

2.5.1 消费活动的系列化

消费社会中，消费主体在城市空间的消费活动方式呈现出“系列化”的情况，所谓“系列化”是指消费主体在特定空间和时间范围，连续、交错从事某种消费活动，并且这种活动之间具有深层次的关联。

当相互关联的多种消费活动以特定的形式固化成为“消费链”，并成为大多数消费者在同一空间的共同消费行为时，“消费活动系列”就产生了^[77]。

消费活动系列化有三个结构特征：第一，由主要消费活动和附属消费活动构成，主要消费活动至少有两种，是构成消费活动的核心活动单元，附属消费活动有一种或者多种，与主要消费活动搭配完成。第二，活动单元之间只有主次之分，没有先后之分，多种消费活动以交错、或者连续的方式发生，而非某一固定顺序。第三，主要消费活动呈现出高度关联性，为活动内容的主题关联，或者是层级关联，相邻层级消费活动的层级递增关系，大型购物中心的两个主要消费活动—日常购物与休闲之间就是类似的关系。

2.5.2 消费活动系列化的原因

消费活动系列化可以认为由以下几点原因产生：

(1) 人类心理中对于需求递增和最大化、高效化的要求。

现代城市快节奏的生活使得人们越来越追求以高效的方式实现自我需求的递增和最大化，多种消费在一定时间、空间内高度聚集，以连续、密集的方式完成，是提高效率，在最短时间获得最大心理满足的重要方式，也是马斯洛“需求层次理论”指出的心理需求不断递增的结果。

(2) 大众消费社会为消费活动系列化提供了基础

大众消费社会中，随着生活性消费服务业的兴旺发达，走出家庭，进行社会化消费

成为省事、省时、方便、高效的普遍的消费型式，越来越多的消费活动由家庭空间转向公共城市消费空间，消费活动系列化成为城市消费活动的显著特征。

（3）资本操控、引导消费活动系列化不断发展

资本作为消费空间的经营者，有冲动、有目的组织、刺激消费活动系列化的发生，当消费成为一个社会中重要的核心内容之一，消费者在现代社会中担任生产者的角色时，刺激消费、操纵消费成为资本获取经济利润的重要手段。消费空间经营者将消费者在空间中的行为纳入操纵范畴，通过对消费功能的系列化搭配和空间流线的精心组织，有意识引导多种消费活动连续发生，延长消费者逗留时间，不断刺激其产生新的消费需求，以实现经营利润最大化^[78]。而某种系列化消费的活动组织模式一旦被证实为可行，就会被迅速固化，复制，传播，成为消费空间的固定组织模式^[79]。资本通过模式的复制，制造、诱导了消费欲望。

（4）新技术为消费系列化提供了技术保证

新技术的活跃，也往往是消费的高速发展期，电梯、自动传送带的出现使消费者在空间中各方向的运动变得极为便利，极大促进了消费单元间的连接，模糊了楼层的界限，1960年代以来，空调、天窗等的使用，使消费环境摆脱了恶劣天气的影响，消费空间变得更大、更舒适。新技术的进步为消费活动系列化带来更多、更优秀的载体。

2.5.3 消费活动系列化与空间的相关性分析

朱玮在对上海南京东路消费行为进行调查后提出“商业设施的配置和布局将会影响到消费者在此场所中的行为方式，符合消费者行为特征的商业空间结构能够更好吸引消费者停留”^[80]。聂冲通过对长三角地区6家购物中心457家商铺进行的调查发现，“不同零售类型的聚集有助于满足消费者一站式购物和比较购物的需求”^[81]，王灿在对上海五角场万达广场的调查，证实了“购物中心的丰富的业态空间组合提高了消费者的可选择性，功能、业态、空间形式均对活动空间分布产生影响：娱乐功能的吸引力尤为突出，消费者对主力店，内街空间有较高的偏好”^[82]，王德平通过对广州天河城和万象城的调查，认为“多数消费群认知的业种多样性、业种楼层配置和餐饮功能重要性对顾客综合满意度有显著正向影响”^[83]，韩晶通过对上海大拇指广场、大宁国际购物广场、田子坊和深圳中心书城四个样本的研究，发现消费活动系列化存在以下普遍规律^[84]：

1. 主要消费活动与消费空间规模具有相关性，消费功能越大，空间中与之对应的消费比例就越高。

2. 主要消费活动强度与消费空间聚集度之间具有相关性,消费活动强度明显偏高的位置出现在同种类消费空间大量聚集处,特别是主要消费活动与消费空间的大规模聚集有明显联系,消费功能在空间上的高度聚集对消费活动系列中主要消费活动强度具有促进作用。

3. 消费活动链长度与消费功能的广度与深度有关,韩晶通过对上述四个购物中心的调查,发现消费活动链长度与消费空间中消费功能的广度和深度呈现正相关,功能的广度和深度越大,消费活动链越长。

4. 购物休闲活动是城市中最基本,最典型的消费活动系列,购物休闲系列活动在城市中已经极为普遍,徐磊青通过对上海四个广场,5条步行街的调查研究,发现“商业步行街的活动存在明显的购物休闲倾向”^[85],李伟平在对宁波天一广场消费者调研中也发现以“休闲、散心”为目的的消费者占到了总比例的74.9%^[86],王德在2007年对南京东路为消费者调查中,也发现以购物为目的的消费者和以休闲为目的的消费者比例大致相当^[87]。柴彦威通过对天津、深圳、大连的消费者购物出行链调查发现,节假日的消费者活动均以休闲兼购物为主,休闲成为多目的活动中最主要和首选的停留目的,购物反而成为其次的停留目的,以深圳为例,假日以休闲为第一目的的人数占到了62%,购物为第一目的的人数只占到18%^[88]。

休闲于消费的界限的模糊,促进了购物休闲系列活动的形成,休闲的消费化,特别是餐饮休闲、休闲娱乐的普及与社会化,使消费空间成为重要的休闲地点,同时消费的休闲化为购物赋予了休闲的内涵,购物成为休闲的重要方式。大量的消费者成为“娱乐型消费者”,他们来到消费空间不再是单纯买东西后回家,而是带有购物和休闲的多重目的,通过购物,就餐,看电影等最大化满足自身需求,并且在由购物到休闲消费,由休闲消费到购物的不断转换中获得满足,多数消费者在进行餐饮,休闲娱乐消费之后,还会以购物来增加休闲体验,以购物、娱乐为目的的消费者,也常常会转为休闲餐饮。这也是各大购物中心休闲餐饮、休闲娱乐所占用面积日益增加的原因。

2.5.4 消费活动系列化对停车行为的影响

通过上述分析看到,消费的系列化,使得消费者在购物时更倾向于选择具有较长购物链的区域,而停车只是作为其购物链行为的开始和结束,停车是否方便虽然会影响到其对购物地点的选择,但是作为消费者,其出行的根本目的还是进行消费和休闲,消费购物空间的良好氛围和体验才是消费者选择的最主要考量,也就是说,消费者是因为要

去完成消费和休闲才停车，而不是为了停车而去消费和休闲。

另外，随着消费与休闲日益相互渗透，消费者对于等待停车时的时间消耗变得不再敏感，消费者在选择更快速停车和选择自己喜欢的购物空间上更倾向于后者。

2.6 本章小结

除了城市商业中心的空间分布、商业设施的配置状况、居住地区位、购买商品类型等因素是影响城市居民购物活动的客观特征之外，居民的个人社会属性也决定着其消费行为特征，文中认为性别、年纪、收入、学历等都会影响到消费者的行为。

本章对于消费者的决策机制进行了分析，认为消费者购物决策主要受到信息来源和消费场所空间因素两项因素的影响，在信息来源上，虽然消费者个人经验随着购买商品的等级提高其影响力逐渐降低，但是仍然对于决策产生相当大的作用。对于消费场所的空间因素，可达性被认为具有很大影响力，但是其影响力随着购物级别的提高而降低，消费者在前往高级别的购物中心时，对于时间成本敏感度降低。

对于消费活动系列化，本章认为随着现代消费社会的来临，更多消费者存在者休闲和消费相互转化的倾向，消费者更喜欢前往具有较大的消费类型深度和广度的区域进行消费，消费空间聚集度越高，吸引力越大，消费者选择概率越高。

第三章 消费者 Agent 微观数据的获取方法

本章针对在进行以 Agent 为基础的模拟中如何获得合理的微观数据而进行研究，建立一种能够符合区域宏观指标，同时能够提供大量 Agent 微观数据的方法，便于下一步研究工作的进行。

3.1 Agent 微观数据的获取

3.1.1 已有数据的获取方式和规则框架

在城市规划或者城市交通的模拟中，模拟的对象非常广泛，个人、社区、车辆、街区、商业中心、或者是行政区域等都可以作为模拟对象。作为本论文中的消费者 Agent 来说，其同时具有社会和经济属性，属性中诸如年龄、性别、婚姻状况、收入，学历等构成了 Agent 最微观的属性表达。属性对于个体来说具有离散的特点，但是同时又具有符合一定宏观数据信息规律的特征。目前，可以获得的宏观信息主要有：

（1）政府发布的统计数据。政府通过一定时期进行的统计活动，对特定行政区域或者行业发布统计结果，此类结果往往多是基于统计样本总体的描述，如地区总人口数、或者是对于某种属性的分布情况进行描述，例如样本的收入区间分布、人口年纪分布等。

（2）针对于某一特定对象进行的调查。每年不同的行、机构会针对于一定样本进行特定的调查，例如交通规划中对于特定区域进行的 OD 调查。

（3）已有的常识性或者通用性规则，18 岁以下肯定属于未婚，收入和受教育水平存在较强联系等都属于此类。

以上三种情况中，政府发布的数据较易获得，其可靠性往往较高，数据也较为全面，而针对特定对象进行的调查往往数据难以获取，而且很多时候调查样本量较少，不能满足要求。

3.1.2 获取模型中数据的变量

为了便于模型的建立和基于 Agent 的模拟，本论文中对于 Agent 的微观数据获取包括性别、年龄、教育程度、收入、婚姻状况、停车排队最大接受时间六方面。对于模型中的变量定义如表 3.1 所示：

表 3.1 反演过程中的变量名称

名称	变量名称	范围
获取样本总数	N	$1 \sim N$
每个样本属性总数量	M	6
样本编号 ID	i	$1 \sim N$
样本属性 ID	j	$1 \sim M$
属性类型	T_j	数字
样本值集合	$A_{N \times M}$	$N \times M$

3.2 Agent 微观数据的属性

3.2.1 属性的分布及关系依赖

鉴于每个属性的信息类型不相同，从而每个属性的获取方式也不尽相同，文中对于样本不同属性的分布方式进行分类，将其分为以下两类：

(1) 分布频数已知的属性 DA ：此类属性主要为教育程度、婚姻状况、年龄及最大停车等待接受时间。

年龄方面，由于法律规定 18 岁为法定最小驾车年龄，而且购物时消费者年龄组成以 20-60 岁人员为主，因此论文中对于样本年龄，只考虑该年龄段分布，年龄段分布分为：20-30、30-40、40-50、50-60 四个段落，各个年龄段人口比例依照《2010 年西安市人口普查公报》数据确定。数据表达格式为对角矩阵 A ，矩阵中对角线元素的值为四个年龄段在总人口中的比例值。

教育程度分为硕士及以上、本科、大专、高中及以下四类，分别用 A 、 B 、 C 、 D 表示，数据可以表示为矩阵 $E_{4 \times 4}$ ，四行中每行的四个数值表示对应 20-30、30-40、40-50、50-60 四个年龄段中各类学历的比例。

婚姻状况分为未婚、已婚、离异三类，分别用数值 70、80、90 表示，数据格式表达为矩阵 $M_{4 \times 3}$ ，四行中每行的三个数值表示 20-30、30-40、40-50、50-60 四个年龄段中婚姻状况的比例。

最大停车等待接受时间根据实际调查获得，详情见第四章，数据格式与婚姻状况矩阵 M 相似。

(2) 分布概率密度已知的属性 DB ：此类属性认为其属性服从特定的概率密度分布

函数，对应属性为收入、性别两大类属性，其中设收入符合正态分布，性别符合单一分布。从中采集 N 个元素，若概率密度分布函数为 $f(x)$ ，则样本取值为 b 的个体数量为 $N \times f(b)$

(3) 属性间的相互关系设定

本论文所需要获取的六项数据均可以通过相应的数据获取，但根据公布的数据，以上数据之间并没有直接的联系关系，因此需要在以上属性之间建立相互关系，一般来说属性间的关系包括：

第一种，属性间为函数关系 **FR**：样本 i 的若干属性中的某一属性与其余属性存在着某一函数关系，此函数关系可以用数学表达式表达的各类关系，或者是非数学关系的逻辑关系，当样本 i 的在获得某一属性的数值之后，样本 i 的其他属性可以通过数学关系或者逻辑关系获得。

第二种，属性间为概率关系 **PR**，属性 i 与属性 j 之间存在着概率或者频数关系，并已知二者的分布频率或者频数，其关系矩阵设为对角线矩阵 B ， B 中的元素初始值设置为 1，关系概率矩阵 C 为年龄矩阵 A 与关系矩阵 B 的乘积，即： $C=AB$

若 P 为表示某一特性的分布人数概率或频数矩阵，这样就可以样本的属性 i 进行计算，并得到其相应取值，计算方法为：

$$P=CE \quad \text{或} \quad P=CM$$

第三种，属性与其它属性无关 **NR**，如最大停车等待接受时间。

根据以上分析，将论文涉及的属性之间的相互关系列表如表 3.2 所示：

表 3.2 各属性之间的相互关系

属性	性别	年龄	学历	收入	婚姻
性别	-	NR	NR	PR	NR
年龄	NR	-	PR	PR	PR
学历	NR	PR	-	FR	NR
收入	NR	PR	FR	-	NR
婚姻	NR	PR	NR	NR	-

3.2.2 属性之间耦合性分析

鉴于样本的不同属性的分布和关系的类型不尽相同，故需要根据不同属性的数值特征采用不同的反演方法。本文中在反演样本时的耦合关系可以分为 6 种，如表 3.3 所示。

其中 $DA-PR$ 和 $DB-PR$ 都是用 PR 的结果计算得到, 随后需要与 DB 或者 DA 对比, 修正关系矩阵 B , 直到符合 DB 的分布密度或者 DA 的分布频率。

表 3.3 属性的分布与关系的耦合分析

规则	函数关系 FR	概率关系 PR	无关系 NR
频率已知的分布 DA	DA-FR	DA-PR	DA-NR
概率密度已知的分布 DB	DB-FR	DB-PR	DB-NR

3.3 属性的反演过程

依据上述方法, 利用 *MATLAB* 和 *ACCESS*, 可以对 *Agent* 模型进行个体样本数据的反演。

3.3.1 数据输入

Agent 微观数据反演时需要输入的数据包括样本的总数、属性数量、属性分布类型和属性间相互关系。样本属性及其参数如表 3.4 所示, 表格中共有 6 类属性, 是属性反演的主要特性和相互关系反应。

表 3.4 样本属性及属性关系汇总表

编号	英文名	中文名	分布	关系	耦合类型	数据类型
1	ID	样本号				INT
2	AGE	年龄	DA		DA-NR/DB-NR	INT
3	SEX	性别	DB		DB-NR	BOOL
4	MAR	婚姻状况	DA	PR	DA-PR	BOOL
5	EDU	受教育程度	DA	FR	DA-FR	STR
6	INC_M	月收入	DB	FR	DB-FR	INT
7	P-TIME	停车等待接受时间	DB	NR	DB-NR	INT

如表 3.5 所示, 分布密度符合设定概率密度类型的属性都在下表中列出, 论文主要使用了两类密度函数, 一个是正态分布, 另外一个为均匀分布, 相关的参数也在表格中由表示, 例如设定月收入服从正态分布, σ 为 3707 元, μ 为 1800 元(人均收入数据依照

2015 年西安市统计局发布的统计年鉴确定)。

表 3.5 概率密度分布类型的属性信息表

ID	英文名称	分布类型	参数 a	参数 b	备注
1	INC_M	正态分布	3707	1800	A 为均值, b 为标准差
2	SEX	均匀分布	男	女	

符合频率分布已知分布类型的属性基本信息如表 3.6 所示, 表中 AGE_RANG 为样本属性中的年龄属性 (年龄属性), NUM 表示对应元素的频数。

表 3.6 符合频率分布的属性信息表

ID	AGE_RANG	NUM
1	20~30	19
2	30~40	24
3	40~50	32
4	50~60	25

样本中的月收入(INC_M)属性依赖于年龄(AGE)、受教育程度(EDU)、性别(SEX)共 3 个属性, 其决策树用 *MATLAB* 语言可以表述为:

```

if (20<=A(i)<30)%年龄段
    if(SEX==1)%男性
        if(EDU==A)
            INC_M>=4500;%硕士及以上学历
        end
        if(EDU==B)%本科学历
            4500>INC_M>=3500;
        end
        if(EDU==C)%大专学历
            3500>INC_M>=2500;
        end
        if(EDU==D)%高中学历
            >2500>INC_M>=1000;
    end
end

```

end
end
end

概率关系的属性中，婚姻状况和受教育程度均依赖于年龄。人口的各个属性的相互依赖关系可以从人口普查资料中获得，若在其中存在多个表格描述两个属性之间的关系，则将这两个属性中的任一属性分为若干区段，针对每个区段给出另一属性的分布统计数据。如表 3.7 所示，其中 AGE_ID 为表 3.6 中的各个年龄段的 ID，MAR 表示对应年龄段的婚姻状况比例，例如对于年龄段在 20 到 30 岁(AGE_ID 为 1)段的居民，根据表 3.7 所示，未婚的概率为 31.6%，已婚的概率为 68.4%，其他状况均为 0。

表 3.7 年龄和婚姻状况的概率关系

ID	AGE_ID	MAR
1	1	68.4% 31.6% 0%
2	2	0% 91.7% 8.3%
3	3	0% 96.9% 3.1%
4	4	0% 88% 12%

部分反演结果如表 3.8 所示。表中受教育程度中的 A、B、C、D 依次表示学历为硕士及以上、大学本科、大专、高中及高中以下。婚姻状况中用 70、80、90 分别表示未婚、已婚、离异。

表 3.8 部分反演结果

ID	性别	年龄	婚姻状况	月收入	受教育水程度
11	0	26	80	1142	C
12	1	52	90	2196	D
13	1	52	80	6145	A
14	0	33	80	1777	D
15	1	45	80	5437	A
16	0	51	80	3930	B
17	1	37	80	6293	A
18	0	32	80	1177	C
19	0	21	70	3351	B

20	1	37	80	1533	D
21	1	47	80	8941	A
22	0	54	90	5192	B
23	1	42	80	6189	A
24	0	29	70	1802	D
25	0	51	80	2863	D
26	0	35	80	3217	B
27	1	49	80	5684	A
28	0	38	80	3207	B
29	0	29	80	4970	A
30	1	35	80	1704	C
31	0	49	80	3070	B

3.3.2 反演结果分析

(1) *DB-FR* 类型, 如 *INC_M* 属性, 采用非参数检验的方法, 假设反演得到的样本的“*INC_M*”属性符合正态分布, 估计得到的均值为 3705.65 (预先设定为 3707), 标准差为 1798.98 (预先设定为 1800), 双尾显著性为 0.575, 接受原假设, 因此“*INC_M*”属性也符合预先设定的概率密度函数。

对收入水平进行曲线拟合, 结果如图 3.1 所示。“*SEX*”属性反演结果中性别为“1”(男性)的样本数量为 5005, “0”(女性)为 4995。符合均一分布。

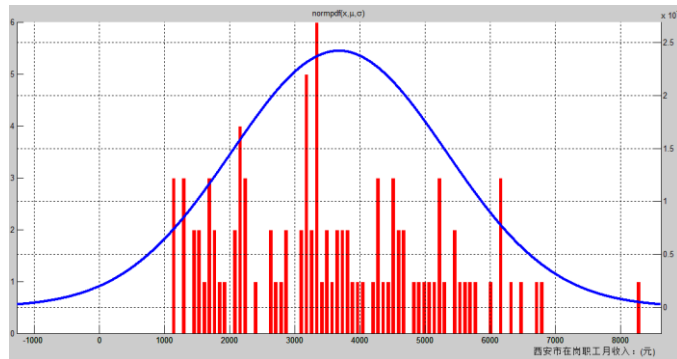


图 3.1 拟合西安市在岗职工人均月收入(单位: 元)

(2) *DA-NR/DB-NR* 类型, 如“*AGE*”属性, 该类型属性与其他属性没有依赖关系, 是根据原始统计资料所描述的样本分布来确定。分布情况如图 3.2 所示。

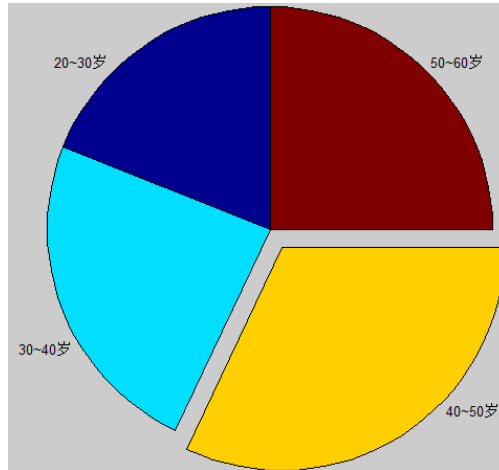


图 3.2 年龄分布图

(3) *DA-FR* 类型如“EDU”属性，是基于“AGE”属性计算得到的，通过调整二者的关系，获得以下反演结果，如表 3.9 所示。

表 3.9 基于“AGE”属性计算得到的受教育程度比例

ID	EDU	原始人数	原始比例%	反演人数	反演比例%	比例差异(反演-原始, %)
1	A	1568953	1.85	83	0.83	-1.02
2	B	1829053	21.60	2460	24.6	3
3	C	472505	5.58	518	5.18	-0.4
4	D	6009450	70.97	6939	69.39	-1.58
总计		8467837	100	10000	100	

从表中可以得出：受教育程度与吻合情况良好，因此总体是可以接受的。

3.4 本章小结

通过反演的 10000 个样本的各个属性的验证，本章一开始预先设定的分布类型和关系类型基本一致，符合宏观统计信息，也符合样本各个属性的依赖关系。

本章提出的方法充可以通过对于较易获得的政府公开统计公报数据、一般的社会或者其他调查、和常规规则等多源数据进行反演，得到 *Agent* 样本的微观属性信息。反演结果在统计层次上具有较高的准确性，可以作为 *Agent* 输入的 *MAS* 进行城市系统的微观模拟，此种方法是对解决当前城市系统微观模拟中个体数据稀缺问题的有益探索。

第四章 消费者空间选择模型

4.1 消费者的空间选择模型

通过在第二章中对消费者消费行为的描述和分析，可以认为所谓概率就是将消费者在集合行为层面的集中涌现，集合行为往往以活动分布的形式出现，如消费者在不同街道或者商店出现的数量。实际上，消费者的行为作为一种个体决策，其行为没有分布可言，消费者的消费行为，通常被人们视为决策结果的具体呈现而已。

对于消费者如何对于商业中心或者商店进行选择，目前主要有两种理论模式普遍采用——空间作用理论和随机效用理论两种：

（1）空间作用理论

城市之间、城市与区域之间在时间与空间上不断进行着物质、能量、人员、信息等的交换，这种时空上的交换即称为空间相互作用^[89]。城市间通过各种要素流的有序彼此相互作用，将空间上相互隔离的区域或者城市（近域范围内）结合为具有一定结构形式和不同功能的相互融合的有机体^[90]。地区与地区之间、城市与城市城市之间随着社会不断发展所日益产生相互联系的需求，成为地区或者城市产生空间形变的最根本的原动力，也促成了这些地区在功能上的不断完善、更新、衰落的演化。在人文经济研究方向上，空间相互作用通常表现为人口的流动、经贸往来、货物与信息的交换、商业中心或者商场的位置选择等各种形式，而从城市地理的角度来看，空间相互作用则通常被作为学者们在对空间流、网络、结点、场以及扩散等问题上做研究时的最基本关注点^[91]。

国外学者很早就对区域空间相互作用进行了研究，引力模型是最经典也是被最早采用的空间相互作用模型，其核心就是表现为由阻抗函数引起的距离衰减模式，这种模型包括最为典型的牛顿型和威尔逊型^[92]。

牛顿空间相互作用模型一般采用经改进以后的一般形式表示^[93]：

$$T_{ij} = KP_i^\alpha P_j^\lambda r_{ij}^{-\beta} \quad (4.1)$$

式中： T_{ij} 表示*i, j*两点间的空间相互作用强度， P_i 、 P_j 分别为*i, j*两地之间某种规模量度值， r_{ij} 为两地之间的广义距离， α 、 γ 为规模参数， β 为阻尼系数， K 为归一化因子。

作为直接由物理研究中引入的公式，牛顿模型缺乏严格的理论依据^[94]，在这种情况下，Wilson提出了基于熵最大化的区域空间相互作用模型^[95]：

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j \exp(-\beta C_{ij}) \quad (4.2)$$

式中 T_{ij} 表示 i 地与 j 地之间的相互作用强度， O_i 、 D_j 分别为 i 、 j 两地某种输出和输入的量度， C_{ij} 为单位物资在两地之间的运输成本， β 为阻尼系数，如果忽略 i 、 j 两地之间的区域差异，可以将 $A_i B_j$ 看作为归一因子 K 。

由于计算方便利于理解，引力模型在 19 世纪就被大量用于对不同区域间人口流动原因的研究中，*Reilly*在研究零售市场时发现零售中心从其周围某个城镇吸引的顾客数量与该中心的规模成正比^[96]，也成为引力模型在商业研究中最经典的应用案例。

同时，引力模型也在交通规划中得到广泛应用，如在交通分布预测中的重力模型。

针对商业空间的消费者行为方面，*Hagishima*应用引力模型对日本福岡一个街区的消费者人流进行了预测，*Guy*同样应用引力模型对英国的加迪夫区进行了实证研究。

由于以重力模型为基础的空间相互作用理论存在对于个人行为无法描述的缺点，上世纪 70 年代，*MIT*的*McFadden*在随机效用理论的突破，产生了基于个人行为的离散选择模型。

(2) 虽然诸如重力模型之类的集合模型对解释集合层面的消费者分布作用很大，但是本质上它们无法解释个人行为，因为重力模型是一种集合类的模型，个人的特征被掩盖，重力模型无法将人们的各类社会、经济属性作为变量来分析，这对于个体之间存在普遍差异的消费者行为研究而言就显得更为不利，由于每个消费者在消费时都会有自己的行为习惯、消费目的，每个消费者都会按照对自己最为有利的方式进行活动，因此基于个人的选择模型，已经成为当前研究者在研究探讨个体行为本身或者自下而上对于集合行为进行研究的最主要的方法。

随机效用模型最早在交通领域得到了广泛的使用，随后人们将其引入消费者行为及其他行业中的研究中来。随机效用理论假定人们的效用和偏好是随机的，人们的效用函数是随机的，但是研究者不能观察到决策者做决定时的所有采用的信息，因此而产生了随机性。从上世纪 70 年代末开始，从随机效用理论被广泛采用开始，经过多年的发展和完善，以该理论为基础的模型和方法都已较为发展较为充分。随机效用模型在消费者行为、交通、住房等诸多领域中得到了广泛应用^[97]。

根据随机效用函数的定义，效用由两部分组成，即可观察到的、确定的部分 v_i 和不可观察的、随机部分 ε_i ，并假定效用由这两部分相加而成，即 $u_i = v_i + \varepsilon_i$ 。假定人们选

择效用最大的备选项 i ，使得 $u_i > u_j$ ，由于效用是随机的，因此我们只能获得行为发生的概率，即 $p_i = P(u_i > u_j) = P(v_i + \varepsilon_i > v_j + \varepsilon_j) = P(\varepsilon_i - \varepsilon_j > v_j - v_i)$ ，假定每个备选项效用的随机部分都相同，且符合 *Gumbel* 分布，那么经过推导得到的选择概率为：

$$p_i = \frac{\exp(v_i)}{\sum_{i'=1}^I \exp(v_{i'})} \quad (4.3)$$

这就是广泛使用的多项式 *Logit* 模型 (*Multi Nomial Logit Model, MNL*)。

在多项逻辑模型中，由于存在 *IIA* (*Independence From Irrelevant Al-ternatives*) 特性，因此随机效用部分必须具有独立同分布，备选项的效用需要相互独立，该特性表现为任意两个备选项的选择概率之比恒定，与选择集中其他其他备选项无关，但是实际上，其相互之间未必完全独立，很多时候彼此之间存在着较为密切的相关性，于是，基于解决备选项之间相关性的要求，嵌套逻辑模型 *NL* (*Nest Logit Model*) 应用而生。

该模型将备选项划分为 M 个互相不重叠的子集选项，每个用 m 表示，($m = \{1, 2, 3 \dots M\}$)；每个备选项的效用函数的随即部分被改为一般极值分布 (*GEV*)，其累积密度函数为 $\exp(-\sum_{m=1}^M (\sum_{i \in m} \exp(-\varepsilon_i / \lambda)))^\lambda$ ，这个分布使同一个子集选项的备选项效用相对于其它备选项存在相关性，而不同子集之间的选项仍存在独立性。 λ 为非负参数，是体现相关性的度量，当其取值介于 $0 \sim 1$ 之间的时候，表示备选项之存在相关性，当其为 1 时，表示备选项之间无关，*NL* 模型即变为 *MNL* 模型。*NL* 模型的选择概率为：

$$p_i = p_m p_{im} = \frac{\exp(v_m + v_m^*)}{\sum_{m'=1}^M \exp(v_{m'} + v_{m'}^*)} \frac{\exp(v_i / \lambda)}{\sum_{i' \in m} \exp(v_{i'} / \lambda)} \quad (4.4)$$

选择被解释为两个步骤，首先选择一个子集选项 m ，其选择概率 p_m 由式 4.4 右边的第一部分确定，其中 $v_m + v_m^*$ 代表选项集的可观察效用， v_m 是与子集选项直接相关的因素形成的效用， v_m^* 部分表示该子选项集中的各项备选项构成的效用，是 *NL* 模型的核心部分，可表示为 $\lambda \ln(\sum_{i \in m} \exp(v_i / \lambda))$ 。选择了子选项集之后，其中的一个选择备选项 i ，其概率 p_{im} 由式 4.4 右侧第二部分表达，形式与 *MNL* 模型相同。

离散选择模型被广泛地应用在商业空间消费者行为的研究之中，通过对不同的城市商业空间和消费环境、居民的微观特征、不同区域市场特点等可能对影响消费者消费行为产生影响的原因进行深入研究，学者们发现离散选择模型能够以比集合模型有更多变的方式来对以上因素进行反应和模拟。*Recker*和*Kostyniuk*用*MNL*模型去解释城市消费者的在购买日常用品中的消费行为，*Timmermans*和*Borgers*用*SP*数据去解释消费者如何选择不同的商户，并建立了*MNL*模型，奥伯瓦尔与蒂蔓默在调查中通过置入诸如不同的业态、橱窗设置、零售物价水平、商品品质等因素作为自变量进入模型，范德瓦登利用离散选择模型，对于停车场位置和服务水平对消费者选择商业中心行为的影响进行了考察^[98]。

在国内，朱玮通过消费者对自身活动轨迹和逗留时间的调查数据，进行了商业空间与消费者行为的研究，研究通过消费者在商业区内对于不同商户的停留和访问频率，建立起了消费者行为与城市商业空间之间的关联，应用*Logit*模型对在商业空间中所发生的个体消费行为和移动规律加以解释，所“涌现”的结果认为是在宏观层面统计的表现，研究可以模拟消费者在步行街的消费过程中的选择行为，为商业区的改造提供一定的依据^[99]。农耘之在对北京王府井大街的消费者调查分析中，利用*Logit*模型，将研究点侧重于消费金额、逗留时间、步行过程等具体消费者行为的分析，从而得到了消费金额与消费者人次紧密相关、是否街区环境有利于步行与消费者光临人数、消费金额密切相关的结论。模型认为消费者的行走轨迹受到周边商户的地块面积、前方商户与现状之间距离等因素的影响^[100]。模型在研究中还对于不同消费者的性别、居住地等因素对于消费行为影响产生的差异进行了研究。模型提出了最大概率路径的概念—特征路径，被认为是离散分析模型在“涌现”之后的宏观表现。通过对特征路径的分析，作者认为在商业区内部不同区域的消费者都具有自己与众不同的走行特点，例如顺游行为、跨越行为、折返行为等等，通过对以上行为的归纳，作者最终基于消费者角度对商业中心进行了空间评价。王德在对苏州观前街进行商业空间分析的时候，采用了与前两者相类似的方法对观前街商区的消费者行为进行了研究^[101]，通过对消费者行为的调查，在调查统计数据基础上对该区域消费者的时空分布特点进行了分析和探讨，并得出了相应结论。作者基于*MNL*模型，结合观前街特有的区域特点，设置了相应的变量，建立了消费者的空间选择行为模型，并对模型的有效性进行了验证。通过模型的验证，发现了消费者的空间选择行为和南京东路与王府井大街有一定程度的相近，主要的影响因素为商户营业面积、是

否接近观前街、是否靠近公园、是否靠近观光景点、商业区道路的横断面构成、商业区域是否步行化等因素对提高商业区的吸引力存在着正向作用。王德和朱玮利用 2001 年和 2007 两次对南京东路消费者调查获得数据的基础上,进行了数据的对比,并分别利用MNL模型进行建模,针对地块上商业空间的变化和商业区功能多元化的变化对行为的影响进行了对比研究。

4.2 消费者消费、停车行为调查的背景介绍和数据分析

本部分内容在实地调查的基础上,对消费者的各项特性进行分析,调查的内容包括:

(1) 消费者基本特性,包括年龄、月收入、性别、婚姻等。

(2) 消费者购物停车选择特性,包括最大停车等待时间、停车费用影响、首选停车地点等。

(3) 驾车消费者部分消费行为特性。

调查分为问询调查和观测调查,问询调查于 2016 年 7 月 30 日-31 日展开,调查时间为早十点到晚十点,由 20 名调查员在西安市小寨商业中心的主要购物中心和专卖店等地随机邀请驾车的消费者进行问卷调查,共发放问卷 520 份,收回问卷 502 份,经过整理最终获得有效问卷 478 份。

4.2.1 调查地点情况

西安小寨商圈是西安市几大传统商圈之一,无论是从 30 年前看,还是当今现在,小寨商圈都是西安人人尽皆知的商业中心,依据刘胤汉基于中心地理论对西安商业结构的分析,小寨商圈被定位为区域级商圈,其辐射范围大约在 4 公里左右^[102]。

小寨位于西安市雁塔区西安中轴线上,北起南二环,南至纬二街,东至翠华路,西至朱雀大街,交通便利,有两条地铁线路在此处相交。

小寨商业中心区域主要建筑布置见下图:

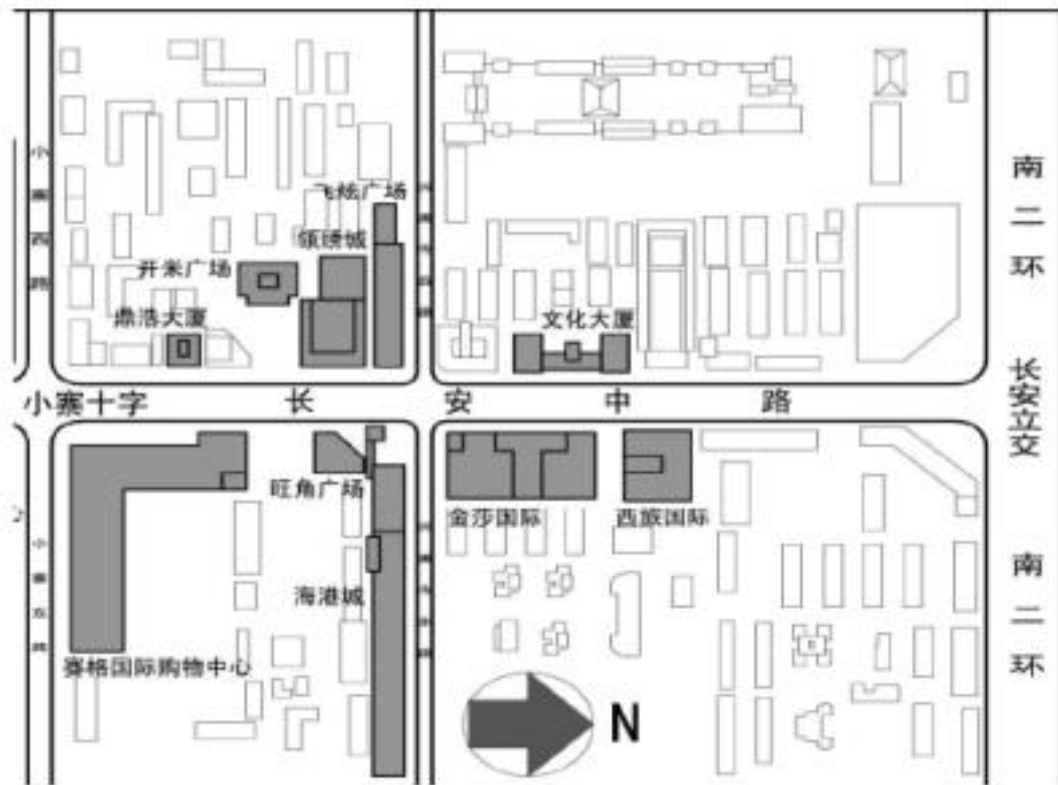


图 4.1 小寨区域主要建筑布置图（北片区）



图 4.2 小寨区域主要建筑布置图（南片区）

区域主要建筑用途与规模见下表：

表 4.1 区域主要建筑一览表

	建筑物名称	功能类型	建筑面积(万 m ²)	配建停车位 (个)	优惠及收费标准
	西旅国际中心	零售、商务	商场 2.5, 餐饮 1.0	300	2 元/h
	金沙国际大厦	零售、商务、酒店	商业 6.0, 商住 6.0	300	3 元/h
	西北文化艺术大厦	零售、商务	商业+商务 1.2		非公众停车场
	飞炫广场	零售	商业 0.7	无	
	领秀城	零售、餐饮	商业 3.5	25	
	开米广场	零售、餐饮、商务	餐饮+零售 1.3	80	3 元/h
	海港城	零售、餐饮	餐饮+零售 4.0	120	6 元/h
	旺角广场	零售、餐饮	零售+餐饮 1.8	无	
	鼎浩大厦	酒店	0.8	20	
0	赛格国际购物中心	零售、餐饮	商业+餐饮 18.0	1600	积分可抵扣, 3 元/h
1	西安国贸中心	零售、商务	商业 0.5	70	3 元/h
	军区服务社	零售	1.6	50	满 50 元, 2 元/h
3	华旗广场	零售、商住	商业 2.0	395	2 元/h
4	嘉汇大厦	商务	1.6	30	
5	阳明国际	餐饮、商务	商业 1.2+酒店 3.1	108	
6	军区服务社购物广场	零售、餐饮、娱乐	7.2	400	2 元/h
7	雁塔文化新天地	零售、餐饮、娱乐	15.0	200	2 元/h

数据来源：实地调查

从上表看到，小寨地区主要的购物中心有金沙国际大厦、赛格国际购物中心、军区服务社购物广场等几家，同时从上表中看到，小寨地区各家商户停车费用基本接近，部分商家对消费者提供适当停车折扣优惠，早期建筑停车配建指标较低，停车位数量较多的商户都为近几年完成建设。

4.2.2 调查设计

1. 调查方法

调查采用问询和现场观测记录相结合的方法，定性和定量相互结合进行数据的采集，为下一步分析提供便利。

1) 问询调查

根据背景的区别, 交通问询调查通常分为RP调查和SP调查两种方法。本次调查采用RP和SP相结合的方法进行。

2) 现场观测调查

现场观测调查用于研究停车场车辆停放情况。通过一定时段内在选定的停车场入口现场观测记录车辆到达数量和车辆离去数量, 采集停车场车辆到达时间间隔、离去时间间隔。

2. 调查明细

调查地点选择: 问询调查地点选择在小寨商业中心, 问询调查则随机选取开车出行的消费者进行。现场观测调查主要是在小寨商业中心最主要的赛格购物中心、军人服务社购物广场、开米广场、金沙国际四处有较大规模配套停车场进行。

调查时间: 问询调查在 2016 年 7 月 30 日-31 日展开, 时间为早 10 点-晚 10 点。停车场现场观测调查时间为 2016 年 7 月 25 日—31 日, 观测时间为早 6 点-晚 11 点。

4.2.3 调查结果分析

1. 消费者基本特性

1) 性别及年龄

本次调查得到的 478 个样本中, 男性为 327 人, 女性为 151 人, 年龄则主要集中在 31 岁-50 岁之间, 平均年龄为 35 岁, 男性平均年龄 35 岁, 女性平均年龄 33 岁。

调查中男性数量较女性数量多 157 人, 说明西安市小寨商业中心的车辆驾驶者以男性为多, 实际上这一结果并不能说明消费者的性别分布呈现男多女少的情况, 更多的是由于购物出行以家庭为单位时, 由男性充当驾驶者所引起。

从年龄分布上来看, 51 岁以上驾车购物的消费者比例较低, 这和其他学者的研究结果较为吻合, 即购物中心主要的消费人群集中在中青年人群。

表 4.2 年龄及性别分布表

年龄段	男	女
18-30 岁	91	61
31-40 岁	138	65
41-50 岁	67	22

51-60 岁	24	0
60 岁以上	7	3

2) 收入

以西安市 2014 年家庭户均人口 2.73 人、人均收入 33100 计算，户均收入为 9.03 万元。依据调查数据，小寨商业中心的消费者年均家庭收入为 12.05 万元，标准差 4.6 万元，较西安市平均数据高，这与西安市南郊的雁塔区、碑林区两地总体收入较西安其它地区较高相适应。

表 4.3 家庭收入分布

家庭年收入	人数	比例
小于 5 万	26	5.44%
5-10 万	160	33.47%
10-15 万	159	33.26%
15-20 万	87	18.20%
20 万以上	46	9.63%

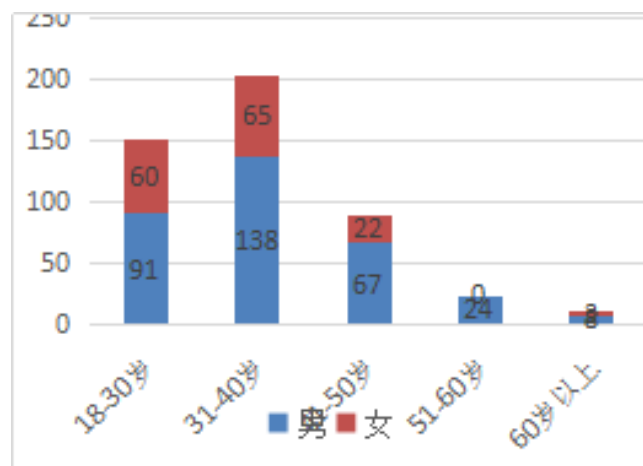


图 4.3 家庭收入分布

3) 学历

西安市南部高校集中，受教育程度较高，从统计中得到的数据也证明了这一点，消费者中具有本科学历所占比例最大，占到了 60.04%，若考虑大专所占 19.67%的比例，占统计样本比例合计为 79.71%，明显高出 2010 年西安市人口统计数据中的 21.9%的比例，当然这也反映了自驾出行的人群总体受教育水平较好。

表 4.4 学历分布

学历	人数	比例
高中及高中以下	29	6.07%
大专	94	19.67%
本科	287	60.04%
研究生以上	68	14.22%



图 4.4 学历分布

2. 消费者购物及停车特征

1) 消费者出行距离

从调查数据来看，消费者平均出行距离达到了 4.16 公里，出行距离 5 公里以上的消费者所占比例最高，1 公里以内消费者所占比例最低，这些数据一方面表明了小寨商业中心与刘胤汉所分析的结论一致——小寨商业中心为区级商业中心^[102]，辐射范围大约在 4 公里；另外一方面也表明了西安消费者出行存在明显的消费行为的圈层结构，日常型的购物主要集中在社区型购物圈，由于购买额度低，对于出行距离较为敏感，出行方式以非机动车和步行为主，而区域型购物圈由于承担的消费级别较高，消费者出行距离较远。

表 4.5 出行距离分布

出发地据停车场距离	人数	比例
1 公里以内	37	7.74%
1-2 公里	62	12.97%
2-3 公里	91	19.04%
3-4 公里	53	11.09%

4-5 公里	64	13.39%
5 公里以上	171	35.77%

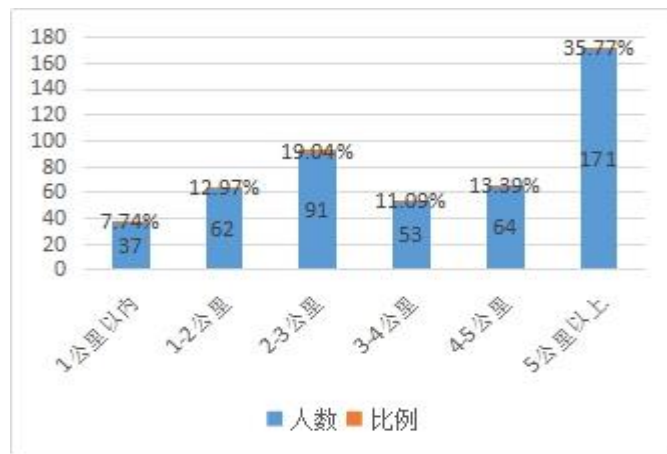


图 4.5 出行距离分布

2) 最大停车等待接受时间

消费者在最大停车等待接受时间方面，平均最大接受时间为 10 分钟，大约 60% 的人能够接受的最大等待时间小于 10 分钟。

表 4.6 最大停车等待接受时间分布表

购物忍受等待停车时间	人数	比例
小于 5 分钟	132	27.62%
5-10 分钟	184	38.49%
10-15 分钟	84	17.57%
15-20 分钟	41	8.58%
20-30 分钟	28	5.86%
30 分钟以上	9	1.88%



图 4.6 最大等待时间分布

3) 停车费用敏感度调查

该调查有两个问题组成：是否知道所选停车场有停车优惠措施，是否明确知道所选停车场收费标准；

消费者在回答以上两个问题时候回答与之前大量学者进行的研究结论有一定不同，之前的调查研究认为停车费用对停车选择有一定影响，但是根据此次调查，消费者对于停车场是否有停车优惠的回答上，有 70.50%的消费者回答不知道，而对于停车收费标准，明确回答不清楚的消费者占到了 42.26%。从以上两项问题的回答来看，可以较为明确看到，消费者出行购物时对于停车费用并不是很敏感，这一方面是由于小寨商业中心的区级商业中心的级别所决定，即商业中心级别越高，消费者平均消费额越高，停车费用所占比重越低，而且在停车目的很明确的为消费休闲的情况下，消费者对停车费用敏感度降低；另一方面也是由于停车收费标准较低，小寨区域停车收费标准基本为 2 元~3 元/小时，以消费者平均停车时间两小时记，每次停车费用不超过 6 元，确实很难引起消费者对停车费用关注。



图 4.7 收费敏感度分布

4) 小寨地区首选购物场所

从小寨地区首选的购物场所调查结果来看，可以充分说明消费者在选择购物场所时的偏好倾向：商户面积要大，消费休闲功能要丰富，形态要多样，停车方便，距离商业中心核心位置足够的近，排在前三位的赛格、军人服务社、金沙都具有以上特征，选项中特地列入了距离小寨商业中心核心位置 600 多米的银泰购物中心，从调查结果来看，没有消费者将其列入首选，这也充分验证了白光润（曹荣，白光润 交通影响下的城市零售商业微区位探析）在文献中提到的“零售商业面积以交通节点为中心呈距离衰减趋势，而且随道路交叉口的距离衰减趋势相当明显。”这一结论的可信^[103]。

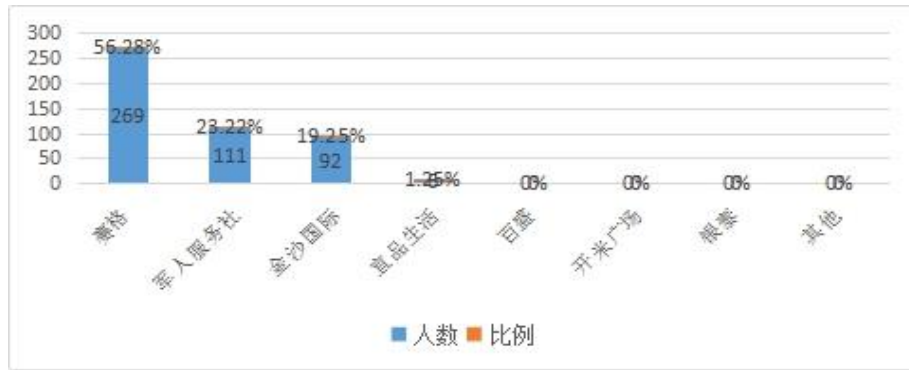


图 4.8 首选购物地点分布比例

5) 每次购物光顾购物中心数量

小寨地区消费每次光顾购物中心的数量为 1 个或者 2 个的比例占到了 82% 左右，因此可以判定其停车次数应该基本为 1 次。

表 4.7 光顾地点个数表

每次光顾购物场所数量	人数	比例
1 个	168	35.15%
2 个	227	47.49%
3 个及以上	83	17.36%



图 4.9 光顾地点个数图

6) 每次购物持续时间

小寨地区消费者每次购物平均花费时间为 2 小时，标准差 0.59，这一点和中国其他城市的消费调查结果相接近。



图 4.10 一次消费持续时间长度

7) 消费者到达时间

从消费者到达的时间段来看，总体上全天到达较为平稳，中午十二点之前和下午六点之前存在着一个高峰时段，这主要和以上四个购物中心都设置相当数量餐饮营业面积有关系，餐饮业态的加入，使得车辆到达时间变得相对比较均衡，早间时段出行人数增加。

表 4.8 出行时段人数分布

到达购物中心的时间段	人数	比例
10-12 点	120	25.10%
12-14 点	66	13.81%
14-16 点	89	18.62%
16-18 点	80	16.74%
18 点以后	123	25.73%

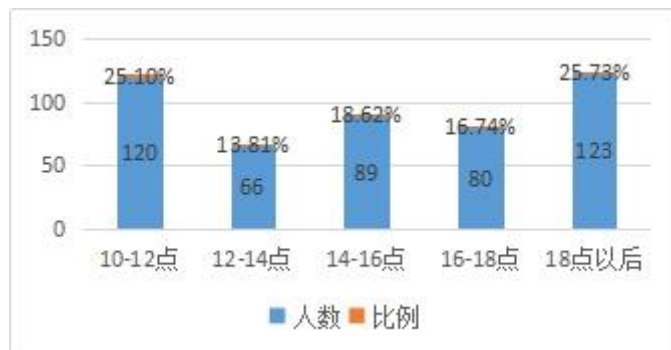


图 4.11 出行时段人数分布

8) 消费者选择首选购物中心关注因素

针对消费者选择购物中心可能关注的因素，调查中共提供了：购物中心面积、购物业态、停车位数量、区位、环境、商品类型、名气、消费习惯，共八个选项，其具体选

择比例充分证明了消费者对于购物中心区位、面积、丰富业态类型、停车便利这几方面的偏好。

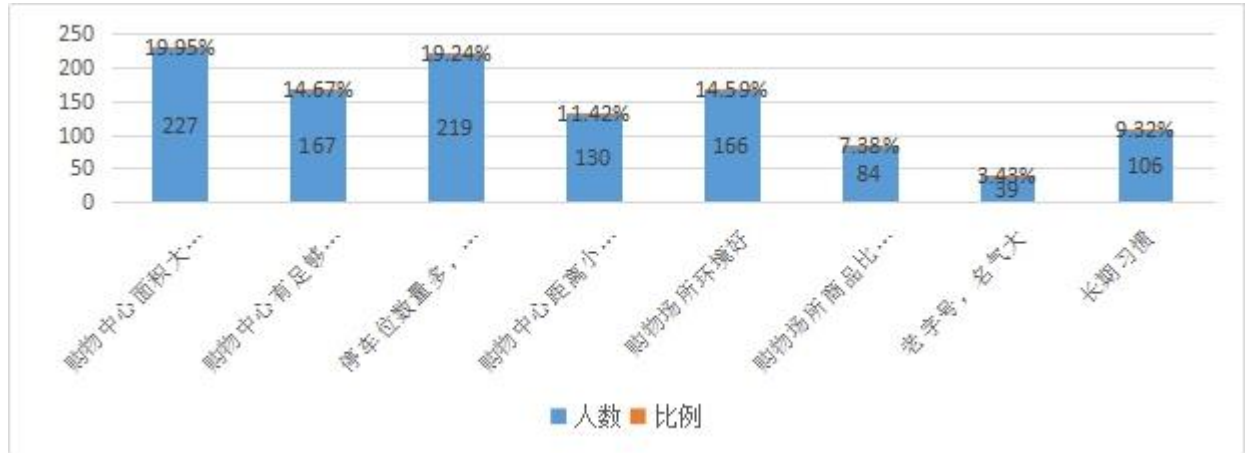


图 4.12 消费者首选购物目的地因素分布

4.3 模型的构建及标定

4.3.1 模型构建

作为消费者来说，消费基本上都是从商业中心的某一入口开始，然后再对商业中心中的商家进行选择，这一行为可以认为是消费者依据自身情况而进行的一次决策，即消费者从若干商家构成的选择集中挑选某一个对自己效用最大的商家作为消费的开始，因此，也就可以利用MNL模型来对这一选择过程进行表达，假定消费者对每个商家都基于自身效用进行评价，依据前一部分的论述，消费者 j 对 I 个商户中每个商户的选择概率公式为（4.5）：

$$p_{ij} = \frac{\exp(v_{ij})}{\sum_{i'=1}^I \exp(v_{ij'})} \quad (4.5)$$

1. 影响效用的因素

模型建立的第一步需要研究消费者效用函数中需要有哪些因素构成。因为影响消费者选择的因素非常多，因此如果将所有的因素都纳入效用中，将很难获得有用的信息，因此在选择因素时，一方面以第二章分析的内容为基础进行判断，并结合实际调查的结论对影响因素进行选定，认为影响消费者行为的几类主要因素：年龄、性别、学历等，另一方面也以研究所关注的停车问题为主进行选择，同时还应考虑了因素的可度量性、代表性、可操控性，因此本论文最终选取能够代表影响消费者停车进行消费的特点作为

论文的研究自变量。

自变量由两大类、共 9 个变量组成，一部分是消费者自身特性的变量，共 4 个；另一部分则是商店的空间特性和停车特性，共 5 个变量。

消费者自身特性变量包括：

(1) 消费者性别 Sex_j ，该变量男性取值为 1，女性取值为 0。

(2) 消费者年龄 $Year_j$ ，按照消费者年龄，20-30 岁，31-40 岁，41-50 岁，51-60 岁，共分为四个组别，各组取值分别为 1，2，3，4。

(3) 个人收入 $Income_j$ ，按照 5-10 万元，10-15 万元，15-20 万元，20 万元以上分为四组，取值分别为 1，2，3，4。

(4) 学历 $Study_j$ ，按照高中及以下，专科及本科，本科以上分为三组，取值为 1，2，3。

商店的空间特性及停车特性包括：

(1) 商业中心所在地块内的有停车场的商户的营业面积 S_j ：根据第二章的论述，一般而言，商店的营业面积越大，由于能够提供的服务内容和规模数量往往与面积成正比，因此对消费者吸引力也就越大。为了平衡量纲，以及考虑到商店营业面积增加所带来的边际效用不断递减的情况，对该值按照对数 \ln 计取。

(2) 商店的功能混合性 M_j ：按照目前商业业态发展情况来看，大型商店往往呈现出多种商业业态混合的趋势，最具代表性的就是目前国内快速发展的商业综合体。该变量代表地块上的商业空间承载的功能是否具有综合性，论文假设商户的混合性对消费者的选择行为具有正向影响作用，即功能越混合，对消费者吸引力越大，该变量为逻辑关系变量，研究以两种条件来确定是否存在混合：一是停车场所所在商户是否是商业综合体；二为停车场所所在商户是否同时拥有百货商店和较大面积的餐饮娱乐功能（在营业面积中所占比例超过 20%）只要满足以上功能，就认为具有混合功能，此时该变量取值为 1。

(3) 停车场停车位 N_j ：从驾车出行的消费者角度来看，停车位数量的多少和商店的营业面积有类似的吸引作用，更多的停车位意味着更多的停车机会，因此其数量的多少将对驾车出行的消费者产生较大的吸引力。为了平衡量纲，以及反映停车场停车位数量

增加所带来的边际效应递减的情况，对该变量按照对数 \ln 取值。

(4) 商店距离商业中心核心区域的距离 D_j ：根据白光润对于零售商业微区位的研究，商业建筑主要分布在交叉口和公交车站附近，而且零售商业面积以交通节点为中心呈距离衰减趋势，因此可以认为商店吸引力与其和商业中心核心区域的距离成反比，距离越远的地块，其吸引的消费者数量越少。为了平衡量纲，以及反应距离增加所引起的边际效应逐渐减弱的影响，对该变量按照对数 \ln 取值。

(5) 停车费用 P_j ：停车费用对停车行为的影响一直被认为有很大的影响，其对停车的影响可以分为两种情况，一种是较高的停车费用直接降低消费者开车出行的可能，也就是对消费者出行方式的选择产生影响，第二种情况则对于已经开车出行的消费者而言，费用对停车场选择的影响体现在消费者会倾向于选择停车费用相对较低的停车场，从大量的关于消费者行为的研究来看，大部分以购物或者休闲为目的消费行为在一家商店的停留时间一般都为 2 小时左右，同时很多商家为了吸引消费者进入店内消费，一般都采取达到一定消费金额之后免费停车的措施，因此论文中对于停车费用变量采用逻辑变量进行定义，有优惠措施为 1，无优惠措施为 0，这样既可以保持模型中各变量量纲的一致，也可以简化模型的计算。

两大类，共 9 个变量具体设置情况见表 4.9

表 4.9 模型自变量取值及度量方法

变量类型	变量名	单位	系数	方程中取值	度量方法
消费者自身特征变量	性别 Sex _j	逻辑变量	α_1	1 男 0 女	
	年纪 Year _j	年	α_2	1-4	按照年龄段分为四组
	收入 Income _j	元	α_3	1-4	按照收入高低分为四组
	学历 Study _j		α_4		
商店空间和停车特征	营业面积 S _j	m^2	β_1	$\ln(S_j)$	商店的总营业面积
	商店混合功能 M_j	逻辑变量	β_2	1 是 0 否	如果商店满足以下条件中一项，可以认为是混合地块：1.拥有购物中心业态 2.同时拥有百货和娱乐餐饮功能。
	停车场停车位数量 N_j	个	β_3	$\ln(N_j)$	

距离商业中心距离 D_j	m	β_4	$\ln(D_j)$	商店距离商业中心核心点的距离
停车费用 P_j	逻辑 变量	β_5	有优惠 1 不优惠 0	

基于以上分析，论文的模型中效用函数最终表示为式 4.6:

$$V_{ij} = \alpha_1 Sex_j + \alpha_2 Year_j + \alpha_3 Income_j + \alpha_4 Study_j + \beta_1 \ln S_j + \beta_2 M_j + \beta_3 LnN_{pj} + \beta_4 \ln D_j + \beta_5 P_j \quad (4.6)$$

V_{ij} 表示消费者*i*对于目的地 j 的效用函数。

4.3.2 模型的拟合及结果分析

将调查数据利用 Transcad 进行处理，得到表 4.10 的结果。

表 4.10 选择行为模型拟合结果

变量类型	系数	值	显著度 sig
商店空间和停 车特征	面积 β_1	0.1003	<0.05
	混合度 β_2	0.1921	<0.05
	停车位数量 β_3	0.9541	<0.05
	距离 β_4	-0.3823	<0.05
	停车费 β_5	0.8541	0.092
拟合优度	优度比	0.213	

模型整体上取得了较好的拟合优度，麦克法登LRI达到了 0.213，（通常认为超过 0.2 就是较好的结果），上述参数中，除了商户距离商业中心距离，其他参数显著度水平都小于 0.05，说明大部分所选择的因素显著影响消费者对商户的选择。

在上述系数中，商户营业面积、商户混合功能、停车位数量均为正值，证明以上元素对消费者具有正向吸引作用。营业面积、商户混合功能为正值，说明一个地块内商业业态越完善，店铺数量越多，对消费者的吸引力越强，越能给地块的吸引力带来某种放大效用，这与第二章文献中提到的“购物中心的丰富的业态的空间组合提高了消费者的可选择性，功能、业态、空间形式均对活空间分布产生影响”的研究结果相吻合。

在商店的空间要素中，距离变量符号为负，表示目标所在地块距离商业中心的中心区域越远，对消费者吸引力越低，这与第一章文献中提到的文献中“零售商业面积以交通节点为中心呈距离衰减趋势，而且随道路交叉口的距离衰减趋势相当明显”的结论相

一致，距离选项显著度不稳定，主要是因为调查地点均距离商业中心较近，消费者在回答问题时对此选项不甚敏感造成。停车位数量变量符号为正，表明消费者对于停车便利的需求较为明确。

4.4 不同属性消费者选择行为比较

消费者自身特征变量对于不同消费者会产生不同的作用，通过对不同类型消费者不同社会要素情况的分析，确定其行为特点，使得研究更能够符合目前各行业在分析时要求具有针对性、定向性的要求趋势。了解了不同群体的活动特征，对本论文来说能够为后面基于Agent的行为模拟提供分析基础，对于编制规划来说，了解各类空间使用群体的特点，对于合理编制规划也有很大帮助。

4.4.1 性别

性别在选择行为中的差异主要表现在营业面积、商店混合功能、距商业中心距离、停车费用上面。在营业面积和混合功能这两个参数上男、女差别明显，女性对于大型购物中心有较为明显的选择倾向，但是女性对于距离则较男性更为不敏感，这主要是由于女性除了对于大型购物中心有较大兴趣之外，对于街头小店也有较大的关注，男性消费者购物时往往具有更强的目标性，而女性购物则更多的注重消费购物过程中的体验和感受，消费的最终结果虽然重要，但是良好的体验和感受才是她们更为关注的部分，因此女性会付出更多精力和时间去光顾各类店铺，商店无论大小，女性消费者都是重要的光顾者，表现在模型中就是女消费者对于距离因素的不甚敏感，这也和第二章中描述的女性消费者行为较为吻合。停车费用上女性较男性更为关注，这和大部分女性较为节约的消费观念有关。

表 4.11 不同性别消费者行为拟合结果分析

系数	男		女	
	值	显著度	值	显著度
营业面积	0.0196	<0.05	0.0724	<0.05
商店混合功能	0.6353	<0.05	0.3575	<0.05
停车位数量	1.0851	<0.05	0.9712	<0.05
到中心距离	-0.4752	<0.05	-0.3527	<0.05

停车费用	-0.0213	0.1568	-0.1665	0.0983
优度比	0.2016		0.1925	

4.4.2 年龄

对不同年龄消费者的选择行为模型拟合结果见表 4.12。*LRI*基本接近或者大于 0.2，模型拟合较为良好。模型对于以下问题与第二章文献的分析形成了很好的印证：距离因素对不同年龄消费者存在着一定程度的影响，青年消费者受距离因素的影响最小，这主要得益于年轻人较好的体力能力，而老年人则对距离较为敏感。在混合功能上中年消费者的青睐程度要远高于青年、老年消费者，这主要和中年人较高的收入和消费能力有关系。中青年人对停车位数量更为关注，这主要和这类人群开车出行次数更高有关，老年人由于开车次数相对较少，对费率情况关注度较低，同时由于老年人样本数量较少（60 岁以上消费者只有 10 人），造成其显著度存在问题。

表 4.12 不同年龄消费者行为拟合结果分析

系数	青年		中年		老年	
	值	显著度	值	显著度	值	显著度
营业面积	0.0536	<0.05	0.0213	<0.05	0.0610	<0.05
商店混合功能	0.4121	<0.05	0.7652	<0.05	0.247	<0.05
停车位数量	1.1367	<0.05	0.9864	<0.05	0.3421	0.241
到中心距离	-0.4273	<0.05	-0.6531	<0.05	-1.1221	0.1455
停车费用	-0.3213	0.1065	-0.2136	0.107	-0.0234	0.215
优度比	0.215		0.1984		0.2011	

注：青年、中年、老年划分标准为：20-30 为青年，31-60 为中年，60 以上为老年

4.4.3 收入

不同收入的阶层中，部分选项（营业面积、商店混合功能）拟合数值出现了不甚理想的状况，有可能主要是因为这些选项本身和收入高低联系较弱所引起。但是在距离、停车位数量和停车费用上，所得到的结果较为容易解释，高收入群体对于停车费用、距离更不为敏感，对停车位数量则最为敏感，这与这个群体的人员较高的驾车出行率和较强的消费能力有关系。

表 4.13 不同收入消费者行为拟合结果分析

系数	低		中		高	
	值	显著度	值	显著度	值	显著度
营业面积	0.213	<0.05	0.103	<0.05	0.2564	<0.05
商店混合功能	0.085	<0.05	0.0932	<0.05	-0.023	<0.05
停车位数量	0.875	<0.05	1.002	<0.05	1.124	<0.05
到中心距离	-0.211	<0.05	-0.251	<0.05	-0.273	<0.05
停车费用	-0.245	<0.05	-0.174	<0.05	-0.114	<0.05
优度比	0.225		0.196		0.21	

注：低收入：家庭年收入<10 万；中等收入：家庭年收入<20 万；高收入：家庭年收入>20 万

4.4.4 学历

从实际调查数据所回归出来的各项系数来看，各项系数的总体变化情况与表 4.14 总体情况大概接近，但是由于硕士以上学历人员较少，所以显著度方面存在一定不稳定的情况。

表 4.14 不同学历消费者行为拟合结果分析

系数	高中及以下		本科、大专		硕士及以上	
	值	显著度	值	显著度	值	显著度
营业面积	0.204	<0.05	0.132	<0.05	0.3098	<0.05
商店混合功能	0.102	<0.05	0.132	<0.05	-0.145	<0.05
停车位数量	0.745	<0.05	0.912	<0.05	0.901	0.064
到中心距离	-0.234	<0.05	-0.241	<0.05	-0.223	0.146
停车费用	-0.232	0.245	-0.165	0.201	0.132	0.243
优度比	0.286		0.241		0.145	

4.5 本章小结

本章首先对于消费者空间选择模型进行了研究，并在论文中利用 $Logit$ 模型来预测消费者在商业中心选择商户的行为和概率。论文中的 $Logit$ 模型采用了两大类，共 9 个自变量，从消费者自身特性和城市空间结构两方面来构成效用函数，并利用实际调查数据对

*Logit*模型进行了参数标定。

通过对标定之后数据的分析，论文发现消费者在进行购物目的地选择时，消费者存在着对有较大营业面积、较多停车位、距离商业中心核心区较近、业态丰富的购物中心较强的选择倾向，同时性别、年龄、收入等因素也都会消费者的空间选择产生影响。

第五章 基于小波变换的有效泊车位短时预测神经网络模型

车辆停放者到达停车场时是否可以及时停入，避免长时间停车等待，对于驾驶者而言有着重要的意义。对于停车场空余车位的准确预测，不仅仅可以提供给停放者以提高其停车效率，同时作为任何停车模拟模型研究中不可或缺的一个研究环节，建立停车场停放状态的预测模型，对于停车场的有效泊位数进行准确预测，也对模拟方法的完善有着重要的作用。关于预测停车场停放状态，国内外有大量学者对此进行了研究，*WangZehe* 提出了影响因素法，方法主要对停车场有效泊位数影响因素进行分析，对停车场有效泊位数量进行预测，但是停车场会受到诸如停车场自身特性（地面或者地下）、停车场区位、停车费用、周边路网情况、气候状况、偶发事件等因素的影响，因此其有效泊位数会产生较大波动，此方法对一定时间内的有效泊位数进行预测存在一定难度 [104]。

Caicedo Felix 与 *Liushixu* 对于预测停车场停放状态时都采用了时间序列法，将全部影响因素转换为时间因素，虽然停车场停放状态可以很好地被时间序列加以表达，但是个别因素用时间量化实际上会存在极大的困难，同时会产生很大的误差，从而影响预测精度。

郭倩使用了指平滑法对于近停车场的有效车位数预测进行了研究，通过简单指数平滑的预测，可以剔除部分异常波动，但是指数平滑先天具有的迟滞性使得该方法具有一定缺陷 [109]。

陈群 [105]、孙涌 [106]、张军 [107]、季彦婕 [108] 等都使用神经网络模型对于有效停车泊位进行预测，上述文献主要集中于对神经网络算法改进方面加以研究，作者或通过建立自适应学习速率的调整和使用动量项的方法，或采用较为先进的 *ELMAN* 神经网络，或者采用粒子群算结合小波神经网络去加速神经网络的训练过程，但是由于一个可靠的神经网络往往只有通过采用有效的数据经过多次训练才能获得，而停车过程中存在的大量偶发事件会导致数据的异常波动，因此如果原始数据不经处理而直接使用，会对训练后的神经网络精度产生较大影响。

季彦婕使用离群数据处理中的 *LOF* 算法对停车场的数据进行了前期处理，剔除了异常波动数据对预测的影响，随后用 *BP* 神经网络分时段进行训练，建立了有效泊位的预测模型，但是 *LOF* 算法需要在计算时输入 *K* 值，而不同的 *K* 值会对数据处理产生很

大影响^[110]。

从以上对文献和研究现状的分析来看，有效车位的预测方法应主要集中于两方面：一方面是前期对统计数据的处理，通过数据的前期处理，剔除异常波动的“噪声”对后期分析可能带来的影响；另一方面利用经过处理的数据，建立合适的模型对停车场进行预测。

神经网络模型一直被认为具有很好的容错性和鲁棒性，对于识别非线性复杂系统有着明显的优势，非常适用于对于有效停车位的短时预测，也是目前较多学者在研究中采用较多的、较为主流的研究方法，但其存在着容易陷入局部极小和引起振荡效应的缺点，预测结果会有较大的波动，因此基于避免陷入局部最小或者引起震荡效应，而考虑到小波分析在非平稳时间序列的预测中的良好表现，本论文将其应用于神经网络初始参数的选取过程，避免神经网络陷入局部最小情况的发生。

在数据前期处理方面，理想状态下的有效泊车位数据绘制图线虽然可以表示为平滑的曲线，但实际生活中，由于受到各种复杂环境因素（例如天气、节假日等）的影响，有效数据或者会存在丢失、或者不完整、不规范的情况，而这种情况将会对训练机器进行学习和预测产生极为不利的影响，因此需要从大量数据中将异常数据剔除，才能进行下一步的工作。

针对如何发现高维度数据空间的离群点，本文在 *SLOM* 算法基础上提出了基于信息熵的 *ELSOM* 算法对离群点加以剔除，算法的提出，为之后的机器学习、准确短时预测打下坚实的基础。

5.1 有效停车泊位的短时变化的特征分析

5.1.1 周变化特性

以西安市赛格国际购物中心停车场 2016 年 7 月 25 日（星期一）到 2016 年 7 月 31 日（星期日）的停车统计数据为研究对象，统计时间周期为 15min，研究每天 6:00~23:00 的 APS 数据，该停车场有效停车泊位的短时变化特性如图 5.1，5.2 所示。

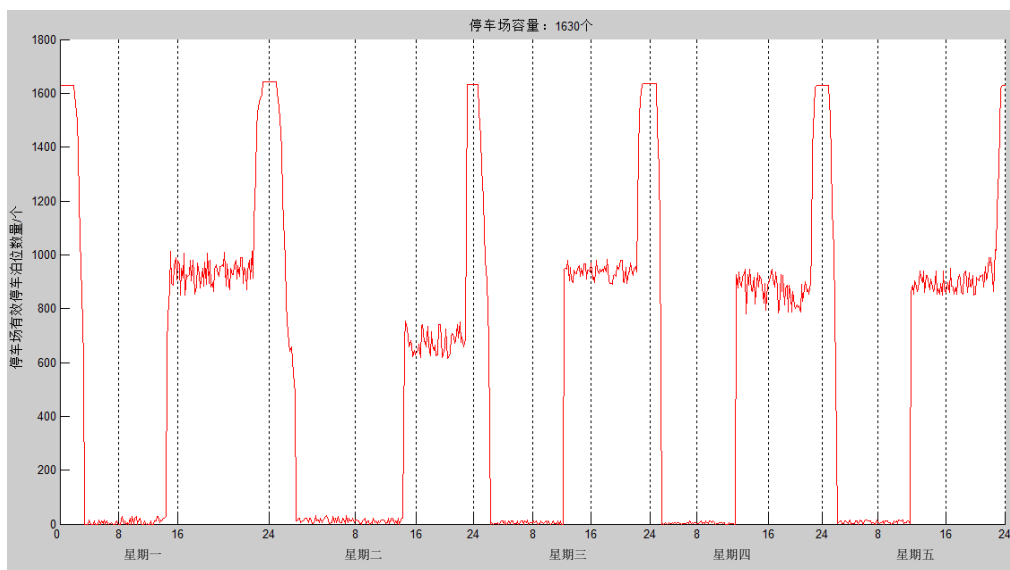


图 5.1 西安市赛格国际购物中心停车场
7月25日至7月29日有效停车泊位变化曲线

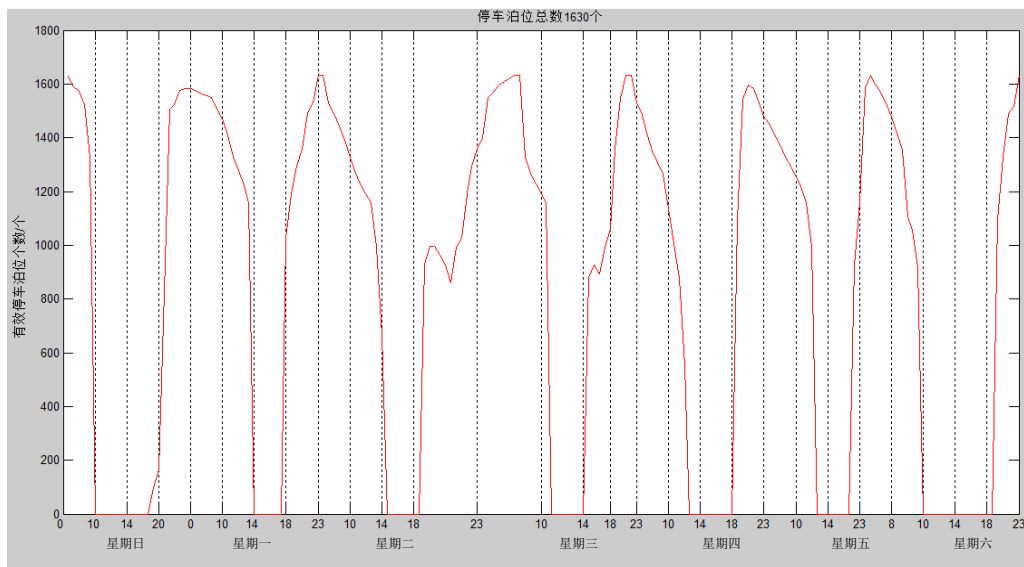


图 5.2 西安市赛格国际购物中心停车场
7月25日至7月31日有效停车泊位变化曲线

总体而言,工作日(周一至周五)里虽然每天的同一时刻有效停车位数量不尽相同,但是总体上来看波动有限,但是如果将统计时段单元设置得太短,各种偶发因素造成的波动就会越大,则停车位的波动越剧烈;休息日(周六和周天)的有效停车泊位大致相同,但工作日和休息日的有效泊位变化有一定差异。

5.1.2 日变化特性

以5分钟,10分钟,15分钟的时间间隔对赛格国际购物中心停车场在2016年7月25日(星期一)的有效停车泊位的变化加以分析,有效停车泊位数变化如图5.3~5.5所示。

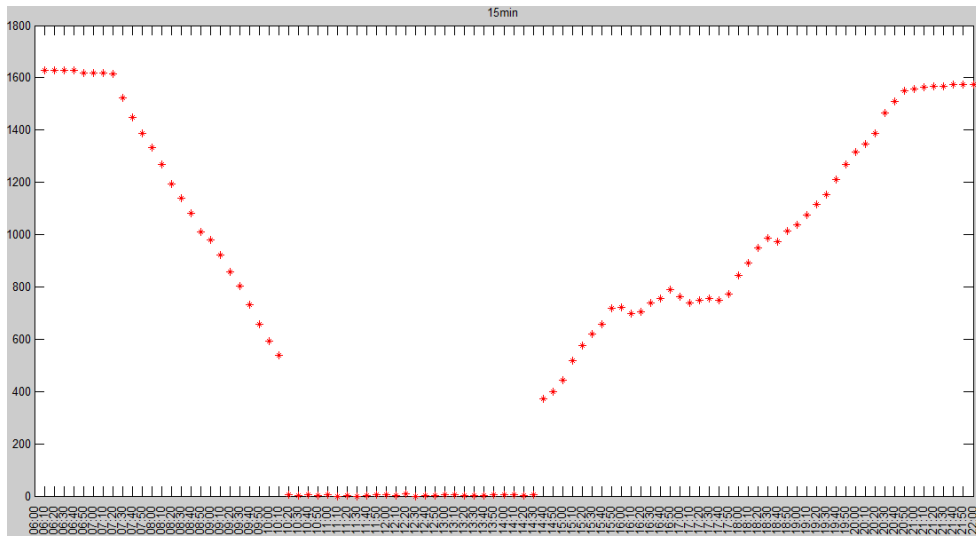


图 5.3 以 15min 为间隔的停车楼有效停车泊位日变化曲线

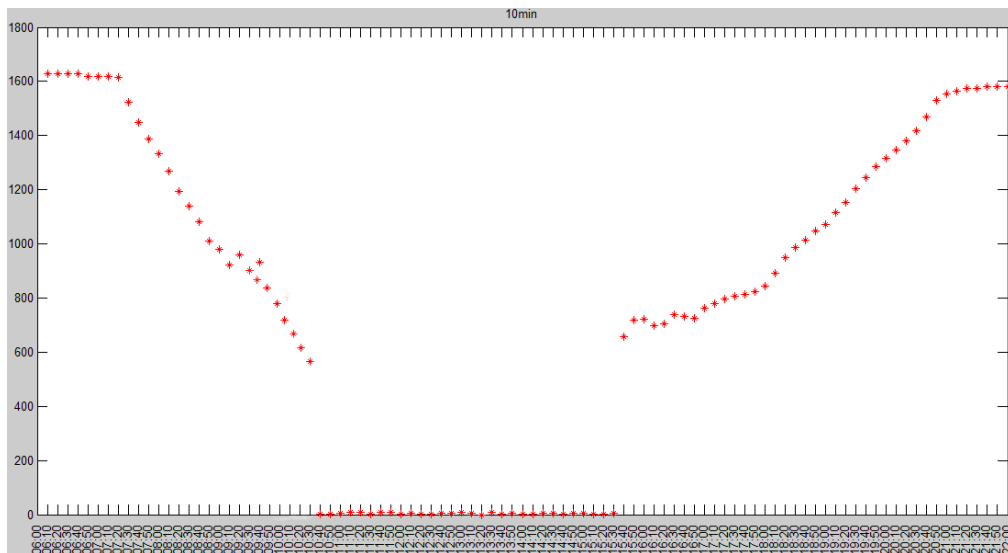


图 5.4 以 10min 为间隔的停车楼有效停车泊位日变化曲线

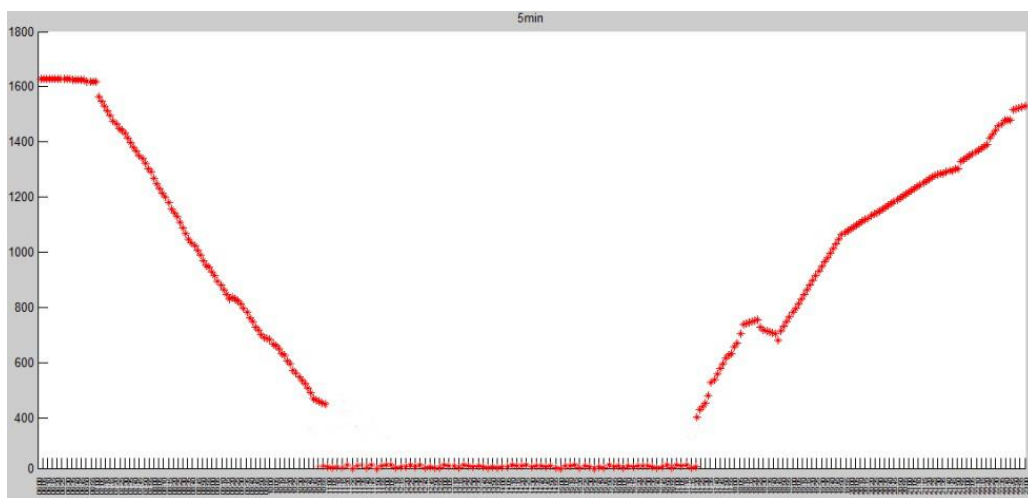


图 5.5 以 5min 为间隔的停车楼有效停车泊位日变化曲线

从上述变化曲线图可以看到，在不同统计时间周期的尺度下，该停车场有效泊位的变化规律呈现出很强的随机性，观测尺度越小，各种随机干扰所造成的影响就越大，有效泊位数的变化就越剧烈，表现出明显的波动特性。

5.1.3 数据特征

本论文利用波动率对有效停车泊位时间序列中相邻数据间的波动特点加以刻画，从而可以更好地表示时间序列的微观动力学特征。设时间序列 $s(k)$ ，则 $s(k)$ 的波动率可定义为式 (5.1)， m 为对应的序列号，并根据有效停车泊位时间序列的波动率值绘制得到相应的波动率图，如图 5.6 所示。

$$v(m) = \frac{[s(m+1) + s(m-1) - 2s(m)]}{s(k)}, \quad m = 1, 2, 3, \dots, n-1; k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5.1)$$

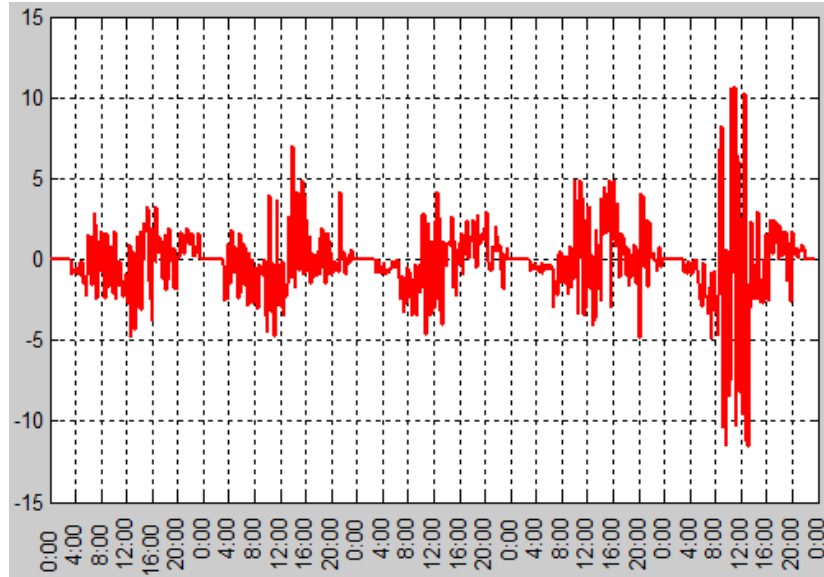


图 5.6 有效停车泊位波动图

由图 5.4 可以看出，在每天的 12:00~16:00 时间段内，有效停车泊位时间序列变化较为剧烈且不规则，反映出停车场这一时间段内车辆进出较为频繁，即车位的周转率较高，其余部分时间段内变化虽然波动较小，但同时其变化规律也较弱，若使用传统方法无法做到准确预测。

5.1.4 离群数据的分类

离群数据是指在数据中有一个或几个数值与其他相邻数值相比较存在较大差异。通常而言，对时间序列中出现的离群数据究竟是由于随机涨落引起，还是由于其它某些因素而造成很难进行人工判定，而离群数据识别的目的就在于找出隐含在少量数据中相对稀

疏孤立的异常数据模式，从而在正常预测中通过修正离群点减少其对正常数据的影响。

对时间序列预测精度影响最大的加性离群点分为两种，这两种离群点有着截然不同的统计特性：一种离群点是每天的有效停车泊位数据虽然具有相似的变化规律，但当有效停车泊位数较少时，数据就会存在着较强的自然波动；第二种的统计特性表现为为正常数据基础上的不正常的波动。如图 5.7(a)所示为第一种加性离群点，图 5.7(b)为第二类加性离群点。

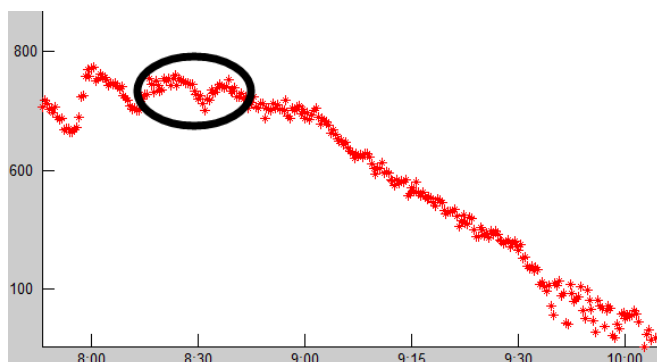


图 5.7 (a) 第一类离群点

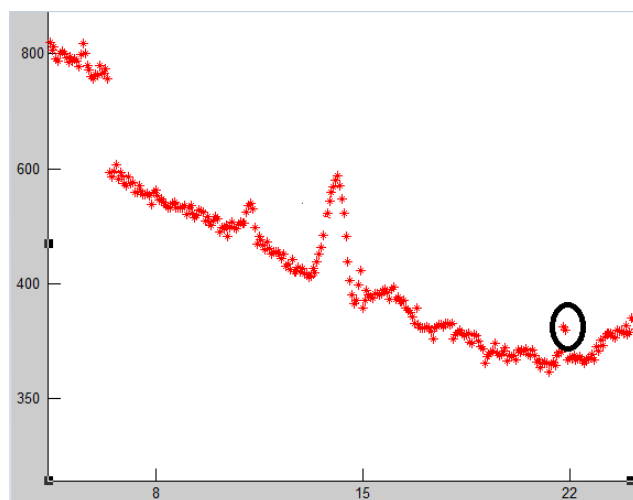


图 5.7 (b) 第二类离群点

从图 5.7 可以看出，与白噪声相比较而言，离群点的主要不同在于离群值是孤立的、局部的。鉴于以上原因，需要一种不仅能从正常数据中准确识别出两种不同种类的离群值的方法。本论文针对停车有效泊位数据自身特性，设计了一种针对有效泊车位的数据挖掘方法—基于小波分解的局部信息熵的 *ESLOM* 算法，从而实现在大量数据中有效而准确地识别出离群数据。

5.2 基于小波分解的局部信息熵的 ESLOM 算法

5.2.1 小波分解降噪原理

若将停车过程中的突发情况所造成的停车位数量的异常波动视为一种“噪声”，含有噪声信号的简单模型可以表示为：

$$S(i) = f(i) + n(i) \quad (5.2)$$

其中 $f(i)$ 表示未包含噪声时的真实信号

$n(i)$ 表示混在在真实信号中的噪声信号，是需要被剔除的信号；

$S(i)$ 表示含有噪声的实际测得的信号

假设噪声为 $n(i)$ 的信号是服从高斯分布的随机序列且均值为零， $f(i)$ 为具有某种规律或者表现较为平稳的信号，在信号系统中噪声 $n(i)$ 被称为高频信号，而 $f(i)$ 被称为低频信号。若想要去除噪声 $n(i)$ ，需要设置由低通滤波器和高通滤波器共同组成的一组滤波器，将信号 $S(i)$ 加以分解，将信号中的高频信号和低频信号通过滤波器分解到不同的子带信号，而由于小波变换可以通过两组正交的函数分别表达低频和高频信号，因此通过小波变换对于夹杂了噪声的信号加以分解，就可以把信号集中到某些频带的系数上，同时如果将其他频带上的系数能够设置为 0，就可以将噪声信号剔除。一般来说，利用小波变化进行噪声剔除的方法可以分为如下几步：

(1) 将含有噪声的信号进行小波分解：首先选择合适的小波母函数和父函数，同时确定需要分解的层次和分解类型，然后对信号 $S(i)$ 进行 N 层小波分解处理；

(2) 对于高频信号设置阈值：对经过小波分解的后获得的各个层次的高频信号设置一个阈值，对于超过阈值之外的数据认为其为噪声，并加以剔除，从而完成降噪的工作；

(3) 对于剔除噪声后的小波进行重建：将通过降噪处理的不同层次的高频信号与对应层次的低频信号进行组合，对信号进行还原，还原后的信号认为已经剔除噪声的影响，从而利用小波重构得到原始信号。

依据以上思路，本文提出的数据前期处理方法可以描述为：

第一步，将搜集到的一定时间段的有效停车泊位数据以天为单位进行整合，对整理后每天的有效泊车位时间序列进行小波分解，分解得到一个低频信号和多个高频信号。之后基于的得到高频信号的统计特性，将各天的数据分为两类：正常数据和异常数据。

异常数据包含了全部的离群数据；

第二步，在异常数据中进行离群数据挖掘，利用合理的方法确定离群数值界定的阈值，对于高频数据进行处理。

第三步，通过小波重构，利用处理后的数据完成信号恢复。

5.2.2 小波分解与重构

依据图 5.6 所表示的车辆有效泊位的变动曲线，可以认为有效泊位的变动是一个具有一定变化规律的信号，偶发事件对泊位数的影响，可以认为是信号中的噪声，因此对有效泊位数的分析就转变成了对于信号的分析，如何分离处信号中的噪声，尽量多的保留信号的有效信息，成为了问题的关键。

1. 小波变换

小波变换是在傅里叶变换之后发展起来的一种对于信号进行分析的方法，它克服了傅里叶变换只能在全时域范围进行变换和短时傅里叶变换只能在固定的短时窗口进行分析的缺点，具有时域和频域局部化的特点，适合分析非平稳信号，可以由粗及精地逐步观察信号，适合于探测正常信号中夹带的瞬态反常现象并显示其成份，小波变换其定义可以表述如下：

设 $\psi(t) \in L^2(R)$ ，其中 $L^2(R)$ 代表实数 R 上的平方可积函数空间， $\psi(\omega)$ 代表 $\psi(t)$ 的傅里叶变换，当 $\psi(\omega)$ 满足下述允许条件时，将 $\psi(t)$ 称为基本小波或者母小波。

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\psi(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (5.3)$$

将 $\psi(t)$ 进行伸缩、平移，可以得到小波序列

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad a, b \in R; a \neq 0 \quad (5.4)$$

式 (5.4) 被称为基本小波 $\psi(t)$ 基于参数 a, b 的连续小波变换，其中尺度参数 a 称为尺度因子，平移参数 b 称为平移因子。

对于任意函数 $f(t) \in L^2(R)$ ，它在位置 b 、尺度 a 上的连续小波变换可以表示为：

$$W_w f(a, b) = \left\langle f(t), \psi_{a,b}(t) \right\rangle = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (5.5)$$

小波变换的实质其实就是通过内积来表示两个图形或者信号的相似性，它通过设置一个合理的基本小波函数，通过将基本小波函数在时域上的平移，获得信号的时间信息，通过缩放小波的宽度（尺度），可以获得信号的频率信息，对小波函数用的缩放和平移操作是为了计算小波函数的系数，小波系数表征了小波基函数与原信号的相似系数。小波变换可以分为连续小波变换(CWT)、离散小波变换(DWT)和小波包变换。

2. 一维信号的 Mallat 算法

式 (5.5) 表示了一个连续的小波变换，但是在实际的停车统计或者调查中，其实统计的时间段是离散的，停车位的变化被描述为一个离散的时间序列，因此相对而言，离散小波更适合对于停车现象加以描述，因此论文采用离散二进正交小波变换，避免数据出现冗余。利用 Mallat 算法对于进行小波分解和重构，其算法表达如下：

设 $f(t) \in L^2(R)$ ，并假定已得到 $f(t)$ 在 2^{-j} 分辨率的象 $A_j f \in V_j$ ， $\{V_j\}_{j \in \mathbb{Z}}$ 构成 $L^2(R)$ 的多分辨率分析，从而有 $V_j = V_{j+1} \oplus W_{j+1}$ ，即：

$$A_j f = A_{j+1} f + D_{j+1} f \quad (5.6)$$

其中

$$A_j f = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_{j,k} \psi_{j,k}(t), \quad D_j f = \sum_{k=-\infty}^{\infty} D_{j,k} \psi_{j,k}(t) \quad (5.7)$$

于是：

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} C_{j,k} \varphi_{j,k}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_{j+1,k} \varphi_{j+1,k}(t) + \sum_{k=-\infty}^{\infty} D_{j+1,k} \psi_{j+1,k}(t) \quad (5.8)$$

分别利用尺度函数和小波函数的双尺度方程以及尺度函数的正交性，可以得到：

$$\begin{aligned} C_{j+1,m} &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_{j,k} h^*(k-2m) \\ D_{j+1,m} &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_{j,k} g^*(k-2m) \\ C_{j,k} &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} h(k-2m) C_{j+1,m} + \sum_{m=-\infty}^{\infty} g(k-2m) D_{j+1,m} \end{aligned} \quad (5.9)$$

引入无穷矩阵：

$$\begin{aligned} H &= [H_{m,k}]_{m,k=-\infty}^{\infty} \\ G &= [G_{m,k}]_{m,k=-\infty}^{\infty} \end{aligned} \quad (5.10)$$

因此, *Mallat* 算法表示为

$$\begin{cases} c_{n+2} = Hc_n, \\ d_{n+2} = Gc_n \end{cases}, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots, N \quad (5.11)$$

式中, H 和 G 分别被定义为低通滤波器和高通滤波器, 分别表示总体情况的低频部分和描述细节的高频部分; N 为分解尺度; 为原始时间序列。

小波的分解过程可以自动产生一个金字塔型的逐次分解过程, 如图 5.9 所示。通过式 5.11 可以将原始序列分解为高频系数向量和低频系数向量。

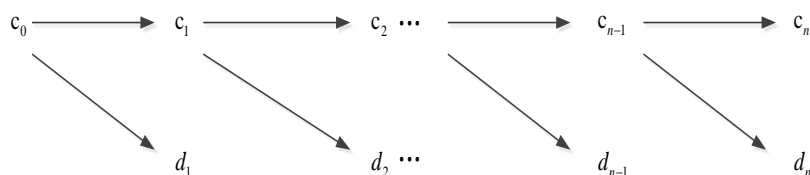


图 5.9 小波分解过程

采用 *Mallat* 算法进行小波分解, 每次分解后都会使时间序列中的样本减半。这样样本数将随观察尺度的增大而呈几何级数减少。样本数量的减少意味着对细节信息描述的丢失, 会对提高预测精度产生不利影响, 但是经过 *Mallat* 算法分解后的序列可以用重构算法进行重构, 小波重构的过程如图 5.10 所示。

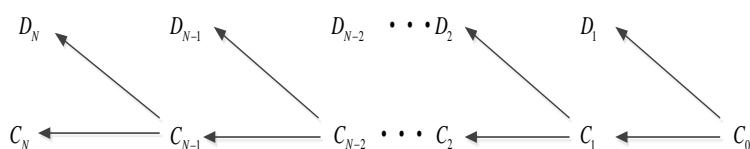


图 5.10 小波重构过程

算法重构描述如下:

$$C_n = H^* C_{n+1} + G^* D_{n+1}, \quad n = N-1, N-2, \dots, 0 \quad (5.12)$$

式中, H^* 和 G^* 分别是 H 和 G 的对偶算子。

采用重构算式进行重构可以增加信号的点数, 对 d_1, d_2, \dots, d_n 和 c_n 分别进行重构, 得到 $N+1$ 个时间序列 D_1, D_2, \dots, D_N 和 C_N , C_N 为低频信号, 反映有效泊位本质总的、宏观的变化趋势; D_1, D_2, \dots, D_N 为高频干扰信号, 反映有效泊位的细节、随机变化趋势。如图 5.11 所示, 它们和原始时间序列的点数是一样的。

下图表示了经过 *Mallat* 算法处理后的分离出的低频信号和高频信号。

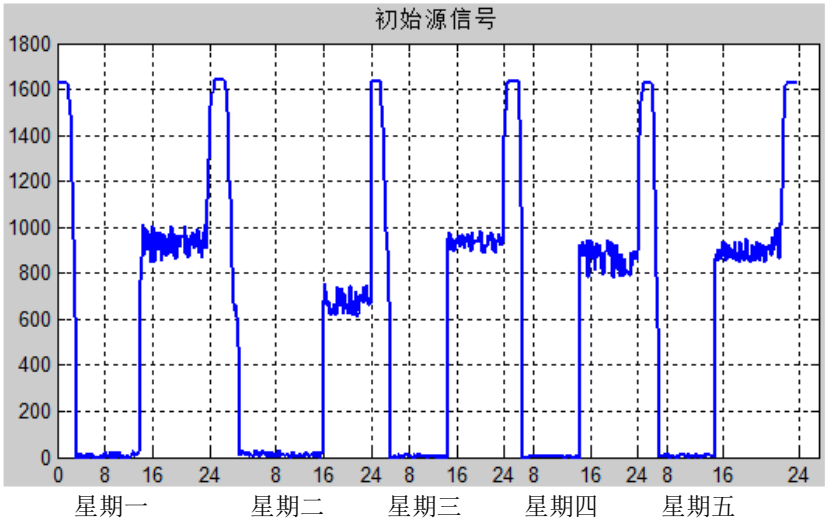


图 5.11 (a) 初始原信号

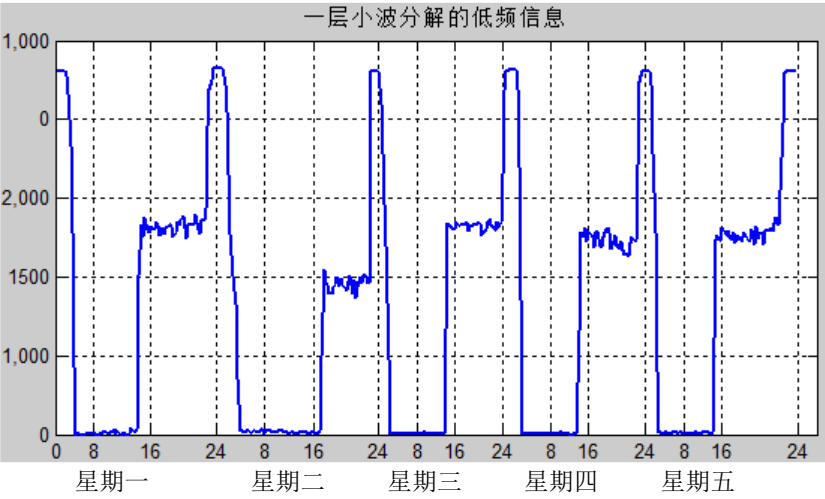


图 5.11 (b) 低频部分

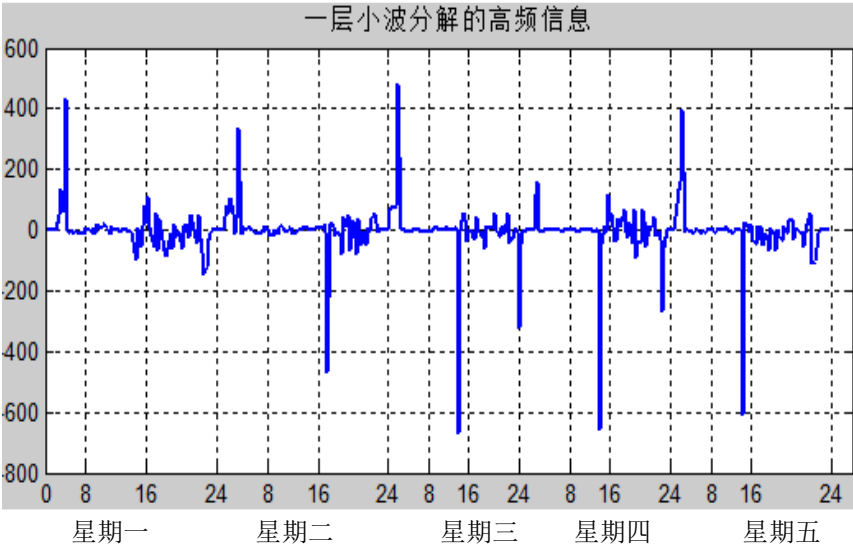


图 5.11 (c) 高频部分

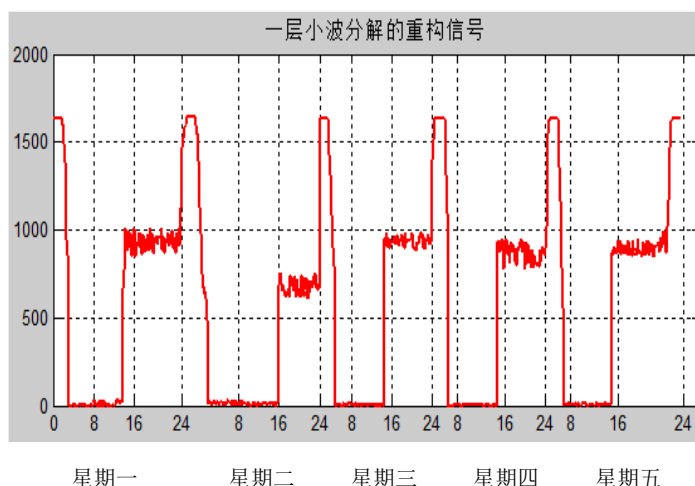


图 5.11 (d)小波重构信号

利用得到的 $N+1$ 个时间序列，并将其组成 $N+1$ 维数据集 D ， $D=[C_N, D_1, D_2, \dots, D_N]$ 。 $N+1$ 维数据共有 M 个数据点，对 $N+1$ 维数据集 D 的维度进行重新编号， $C_N, D_1, D_2, D_3, \dots, D_N$ 依次对应表示为 A_1, A_2, \dots, A_{N+1} ，对于 A_1, A_2, \dots, A_{N+1} 构成的向量 $A=\{A_1, A_2, \dots, A_{N+1}\}$ 称为数据集 D 的维度集。

小波分解部分 Matlab 程序如下：

```
Len = length(s);
[ca1, cd1] = dwt(s, 'db2');
a1 = upcoef('a', ca1, 'db2', 1, Len);
d1 = upcoef('d', cd1, 'db2', 1, Len);
s1 = a1+d1;
```

通过应用离散的小波变换，分析重构时间系列中的细节变化信息，可以很好的揭示离群点的结构，本文选择在离群值检测中具有最好性能的 db2 函数作为小波分析函数，然而，虽然离散小波变换能克服连续小波变换的缺点，却依然很难通过观察找出离群值，因为小波重构后会产生大量的信号特征，简单的通过设置阈值是很难将它们区分开。

5.2.3 基于信息熵加权的 ESLOM 算法

近年来，基于数据挖掘概念的离群点检测技术得到了较为深入的研究，提出了一些有效的检测算法并获得了应用，总体上来看，离群数据的挖掘可以分为基于距离的离群数据算法、基于密度的离群数据算法、基于深度的离群数据算法和基于偏移的离群数据算法。

国也有很多学者对于离群数据的挖掘进行了研究，如郑斌祥利用离群指数的概念，

用数据点的临近点分布密度与该点的数据点分布密度相比来确定离群数据^[111]。崔贯勋首先通过对数据的预处理和分区，通过寻找一个未经预处理的数据，如果确定其为一个核心数据对象，即将该数据及临近数据都标定为非离群数据并进行处理^[112]。杨茂林在论文中对于离群数据检测方法进行了较为完整的论述和研究，并提出对于判断一个离群数据点，不应该单纯看其数值大小，或者单纯计算其与其它点的距离，判断数据点是否离群应通过分析数据点在数据集中的分布情况来加以确定。非理群数据点总会在数据集中有较高的出现概率，而离群数据正好与之相反，基于这样一个原理，作者采用了信息熵来对数据离群情况加以描述，也就是一个数据集离群数据越小，其其信息熵越小，反之则信息熵增大。^[113]薛安荣在论文中将非数值型数据转化为数值型数据，实现基于混合型属性的统一算法^[114]。

以上这些算法对于离群数据的挖掘做了较为深入的研究，但是部分算法对于普通低维度数据具有良好的性能，当数据维度升高时，常规意义下全维度空间的距离不再有意义，这些算法在准确性和效率上可能急剧恶化，*LOF* 算法就存在此类问题。

SLOM 算法与 *LOF* 算法以及其他算法相比，在确定邻域时摆脱了 *LOF* 算法需要用户输入参数的情况，通过利用数据的空间属性和空间关系对于空间邻域加以界定，从而可以大大降低对数据的访问量，提升算法效率。但 *SLOM* 算法由于波动因子单纯通过对称分布状况决定，若存在空间邻域较少或者波动幅度较小的情况时，将难以对于波动情况进行描述，算法会出现一定的漏、误检情况。鉴于以上原因提出基于加权熵的改进算法 *ESLOM*。

本章在改进型的 *SLOM* 算法的基础上，提出基于小波分解的局部信息熵加权的 *ESLOM* 算法。*ESLOM* 算法优点在于利用小波分解提取数据中的波动性数据信息，使得离群数据点的离群特性更加明显。算法过程可以描述为两个步骤，由粗到细，实现了海量数据中的离群数据的高效搜索；本文提出的基于小波分解的局部信息熵的 *ESLOM* 算法，通过合理加权充分利用小波分解后的各尺度信号，克服了以往离群因子阈值难以设定的难点。

ESLOM 算法的详细过程表述如下：

(1)定义度量刻画对象与他对象邻域的关系（邻域距离）如式 5.13：

$$d(o) = \frac{1}{N(o)} \sum_{p \in N(o)} dist(o, p) \quad (5.13)$$

其中 $dist(o, p)$ 是对象 o 到对象 $p \in N(o)$ 的欧几里德距离。

(2) 计算每个数据点的信息熵，数据点 p 的局部信息熵向量表示为

$$LEA(p) = \{LEA_{A_1(p)}, LEA_{A_2(p)}, \dots, LEA_{A_{N+1}(p)}\} \quad (5.14)$$

其中 p 为数据点编号， $LEA_{A_i(p)}$ 为数据点 p 对维度 A_i 的局部信息熵。

熵是信息论中信息和随机变量不确定性的度量。设 X 为随机变量，其取值集合为 $S(X)$ ， $p(x)$ 表示 X 可能取值的概率，则 X 的熵定义如式 5.15:

$$E(X) = - \sum_{x \in S(X)} p(x) \log_2(p(x)) \quad (5.15)$$

变量的不确定性越大，熵就越大，把它弄清楚的信息量也就越大；熵越小，不确定性越小，在此基础上，提出局部信息熵，定义 $F_{A_i}(p)$ 为数据点 p 在属性 A_i 上的投影。局部信息熵的计算方法如式 5.16 所示

$$LEA_{A_i}(p) = - \sum_{x \in N(o)} \frac{disp[F_{A_i}(p), F_{A_i}(q)] - d_{\max}}{d_{\max} - d_{\min}} \times \log_2 \left\{ \frac{disp[F_{A_i}(p), F_{A_i}(q)] - d_{\max}}{d_{\max} - d_{\min}} \right\} \quad (5.16)$$

式中，

$$d_{\max} = \max \{disp[F_{A_i}(p), F_{A_i}(q)] | q \in N(o)\}$$

$$d_{\min} = \min \{disp[F_{A_i}(p), F_{A_i}(q)] | q \in N(o)\}$$

局部信息熵描述了数据点 p 及其邻近数据点在维度上投影值的分布情况，其数值越大，说明以 p 为中心的数据点在维度上表现出的不稳定性越大，则信息含量也越大，对应分配较高的权重；数值越小，说明以 p 为中心的数据点在维度上趋于规范，信息含量较少，分配以较低的权重。

(3) 判断离群属性点。

对于 $N+1$ 维重构时间序列对于 $N+1$ 维重构时间序列 $\{A_1, A_2, \dots, A_{N+1}\}$

$$E(A_i) \geq \frac{\sum_i E(A_i)}{N+1} \quad (5.17)$$

则称该属性具有离群属性。

(4) 计算局部熵权距离。

$$EWdist(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N+1} \omega_i (F_{A_i}(p) - F_{A_i}(q))^2} \quad (5.18)$$

式中, $i=1,2,\dots,N+1$ 。 $\omega_i \begin{cases} \lambda, & A_i \text{是离群点}(\lambda>1) \\ 1, & A_i \text{不是离群点} \end{cases}$ 。

生成数据点 p 的属性权向量 $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{N+1}\}$ 对应的邻接矩阵。

然后, 计算数据点 $p \in D$ 的邻域距离 $\tilde{d}(p)$

$$\tilde{d}(p) = \frac{\sum_{p \in N(p)} \text{dist}(p, q) - \max d(p)}{|N(p) - 1|} \quad (5.19)$$

其中, $\max d(p) = \max \{ \text{dist}(p, q) | p \in N(p) \}$

$\tilde{d}(p)$ 的定义与截尾平均数的概念相似, 通过这样的定义, 可以将均值附近的有可能极大值和极小值去掉。如果对象 p 的值很大, 而对象 p 的邻域中的对象 q 的 $\tilde{d}(p)$ 值很小, 则意味着对象 p 属于明显的离群点候选, 但是如果对象 p 及其邻域 $N(p)$ 里的对象的 $\tilde{d}(p)$ 值都较大, 则表示对象 p 处在不稳定区域, 此时对象 p 不认为是一个好的离群点, 还需要通过定义波动因子 $\beta(p)$ 来解决。

用伪码计算波动因子 $\beta(p)$: 定义 $N_+(p)$ 为对象 p 以及邻域的所有对象构成的集合, 对象 p 的邻域平均为 $\text{avg}(N_+(p))$ 。

step1. $\beta(p) \leftarrow 0$

step2. For each $p \in N_+(p)$

If $\tilde{d}(p) > \text{avg}(N_+(p)) \beta(p)++$

else if $\tilde{d}(p) < \text{avg}(N_+(p)) \beta(p)--$

end

step3. $\beta(p) = |\beta(p)|$

step4. $\beta(p) = \frac{\max(\beta(p), 1)}{|N_+(p)| - 2}$

step5. $\beta(p) = \frac{\beta(p)}{1 + \text{avg}\{\tilde{d}(q) | p \in N(p)\}}$

$$ESLOM(p) = d(q) * \beta(p) \quad (5.20)$$

$ESLOM(p)$ 越大, 表明数据对象 p 的离群性越明显。

针对论文提出的算法, 用 *Matlab* 编程, 对于 7 月 25 日的高频数据加以处理, 并用小波变换中的信号重构加以还原, 还原前、后有效泊车位数量波动情况分别见图 5.12、图 5.13。

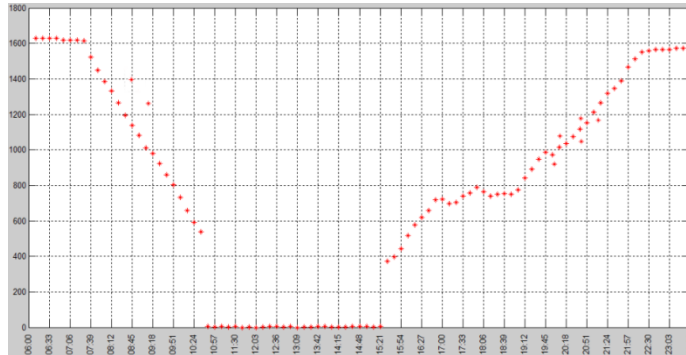


图 5.12 ELSOM 算法处理之前有效泊位变化

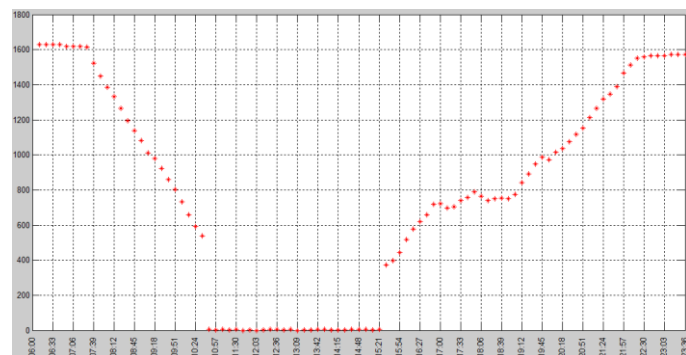


图 5.13 ELSOM 算法处理之后有效泊位变化

从图中可以看出算法对于第一类离群点有很好的抑制作用。对于第二类离群点虽然不能做到完全消除, 但是很明显减少了第二类离群点的数量, 间接的提高了数据的可靠性。

5.2.4 小波神经网络预测模型

神经网络是由一个简单单元处理元构成的规模宏大的并行分布式处理器, 天然具有存储经验知识和使之可用的特性, 神经网络在两方面与人脑相似: 一是神经网络获取的知识是从外界环境中获得, 二是互连神经元的连接强度, 即突触权值, 用于存储获取的知识。一般的神经网络都是可以调节的, 或者说是可以训练的, 一个特定的输入可以得到一个要求的输出, 神经网络已经在诸如模式识别、鉴定、分裂、语音识别、翻译等领

域中得到了广泛的应用，可以实现各种复杂的功能。

多层前馈式网络一般而言具有典型的三部分组成：一组感知单元组成的输入层，一层或者多层计算节点的隐藏层，还有一层计算节点的输出层，在进行误差调整过程中，采用了“误差反向传播”的方式。多层前馈神经网络的反向误差传播训练算法（*BP* 算法）首先由 Werbos^[115]在其博士论文中提出，经过多年的发展，对 *BP* 网络的应用所集中的诸如非线性函数逼近、隐函数的逼近都取得了较好的成果，*BP* 网络作为一种 *EBP*（前馈式）网络，计算有两种截然不同的通过方式，第一个通过为向前通过，第二个通过为反向通过，根据输出层输出的误差反向通过网络，同时调节网络的各项权重或者参数，在通过设置合理的学习率参数和动量常数后，不进行调整，直到误差小于误差限值。*BP* 网络算法简单，易于掌握，这使得 *BP* 网络在现实中容易被接受，得到了普遍使用。

作为一个被广泛使用的神经网络算法，*BP* 网络也存在着明显的缺点，比如经常出现无法收敛，或者即使收敛速度很慢也会收敛于局部最小。由于 *BP* 算法的上述缺点，大量研究集中于对其进行收敛速度或者避免收敛于局部最小的改进，通过诸如调整学习率、增加惯性项、使用更好更合适的样本等方法来解决上述问题，但是受制于 *BP* 算法的梯度下降的基本框架限制，上述努力多少都存在一定缺陷。

小波神经网络（*Wavelet Neural Network, WNN*）是 Zhang 和 Benveniste 在 1992 年首次提出的一种将小波分析技术应用于人工网络的新型神经网络模型^[116]，它既有小波变换的良好逼近特性，又具有人工神经网络的自学能力、泛化能力和非线性逼近能力，因而被广泛用于信号和图像处理、模式识别等领域。

小波神经网络是小波分析与人工神经网络结合的产物，其可以分为两大类^[117]：松散型网络和紧致型网络。松散型网络其实质是利用小波分析作为神经网络输入层之前数据处理的一种办法，通过小波分析对于初始数据进行处理，提高神经网络的收敛速度。紧致型网络则是直接用小波函数作为隐含层的激活函数，分别用小波函数的伸缩和平移系数代替常规网络输入层到隐含层的权值和阈值，小波神经网络由于其具有完整的理论根据，不会像 *BP* 网络那样，在结构上出现一定的随意性，也避免了 *BP* 网络经常出现的局部最优的情况。

WNN（*Wavelet neural net-work*）的网络结构和 *BP* 网络基本一致，最重要的不同点是隐含层所采用的神经元激励函数不一样，*BP* 网络所采用激励函数为 $f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$ ，而小波网络则采用小波函数作为激励函数（具体函数视情况而定，可采用目前普遍采用的

小波函数，如 *Morlet* 小波函数、*mexh* 小波函数等)。小波网络的激励函数与小波函数一样，使用了平移因子和伸缩因子，网络训练采用类似于误差函数梯度下降的 *BP* 算法或者基于熵函数下降的训练算法。

本文中的小波神经网络以三层的 *BP* 神经网络模型的拓扑结构为基础，是一种以小波基函数作为隐层节点的传递函数、信号向前传播而误差向后传播的神经网络。其网络拓扑结构如图 5.14 所示，其中定义 n 为输入节点数目，为隐层节点数目。

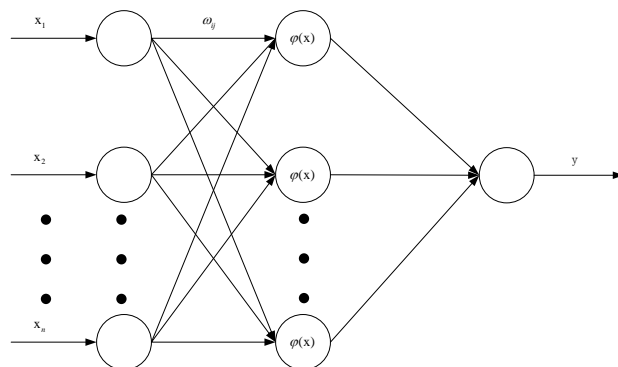


图 5.14 小波神经网络的拓扑结构

设小波神经网络的输入信号可以表示为一个一维向量 $X_i(i=1,2,...,n)$ ，输出信号表示为 y ，本文的重构时间序列短时预测实际实施过程中，若输入向量为 D_I ，则令 $X_i=D_I$ 。计算隐层输出的计算公式

$$h(j) = \varphi \left(\frac{\sum_{i=1}^n \omega_{ij} x_i - b_j}{a_j} \right), \quad j = 1, 2, \dots, l \quad (5.21)$$

式中， $h(j)$ 为隐含层的第 j 个节点的输出值； ω_{ij} 为输入层 i 节点和隐含层 j 节点之间的连接权值， $\varphi(X)$ 为小波基函数， b_j 为小波基函数的平移因子； a_j 为小波基函数的伸缩因子。本文将采用 *Morlet* 母小波基函数：

$$\varphi(X) = \cos(1.75X) e^{-\frac{X^2}{2}} \quad (5.22)$$

函数图形如图 5.15 所示

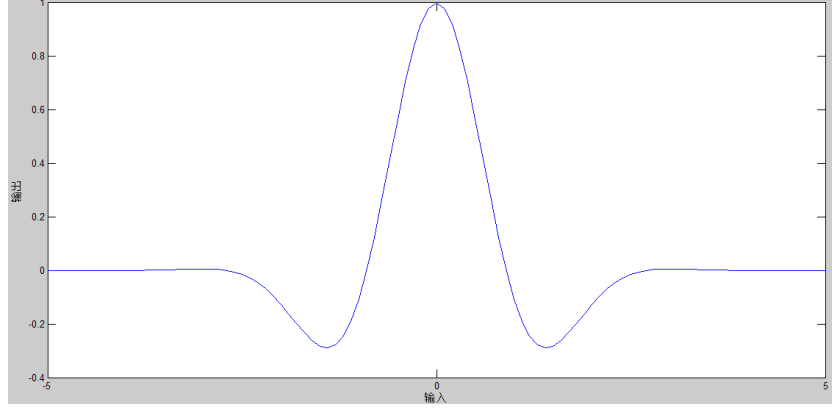


图 5.15 Morlet 母小波基函数

小波神经网络输出层预测值的计算公式为

$$y = \sum_{i=1}^l \omega_i h(i) \quad (5.23)$$

式中为隐含层 j 和输出层之间的连接权值。

神经网络权值的修正

计算网络的修正误差：

$$e = y_n - y \quad (5.24)$$

为期望输出， y 为实际输出。

根据预测误差 e 修正小波神经网络权值和小波基函数系数：

$$\omega_n^{i+1} = \omega_n^i - \eta \frac{\partial e}{\partial \omega_n^i} \quad (5.25)$$

$$\alpha_n^{i+1} = \alpha_n^i - \eta \frac{\partial e}{\partial \alpha_n^i} \quad (5.26)$$

$$b_n^{i+1} = b_n^i - \eta \frac{\partial e}{\partial b_n^i} \quad (5.27)$$

其中， η 为学习率。

本论文中小波神经网络的模型表述如下：停车场中某个时刻的有效停车泊位数与前一时刻的有效泊位数相关，而且由于有效泊位数在 24h 内具有周期性的特征，基于以上考虑，本论文中小波神经网络模型流程设置如图 5.16 所示，神经网络设置为三层拓扑结构，其中输入层负责输入计算时刻 t 之前的 $t-r$ 个时刻的有效停车泊位数，隐含节点的转换函数为小波函数，输出层则是当前时刻的有效停车泊位数。

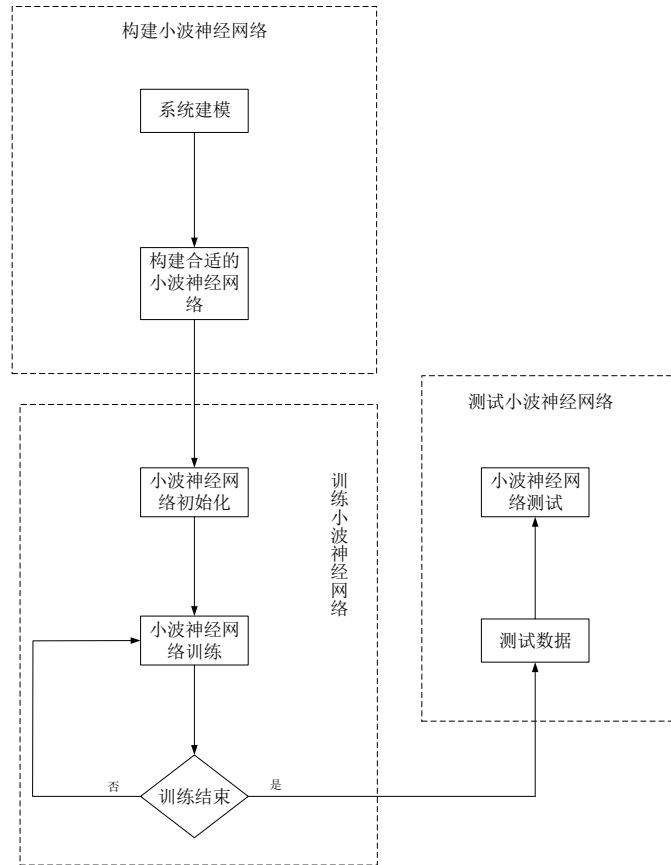


图 5.16 小波神经网络模型

如图 5.17 所示，论文中基于小波变换的神经网络预测模型其流程可表达如图 5.17：

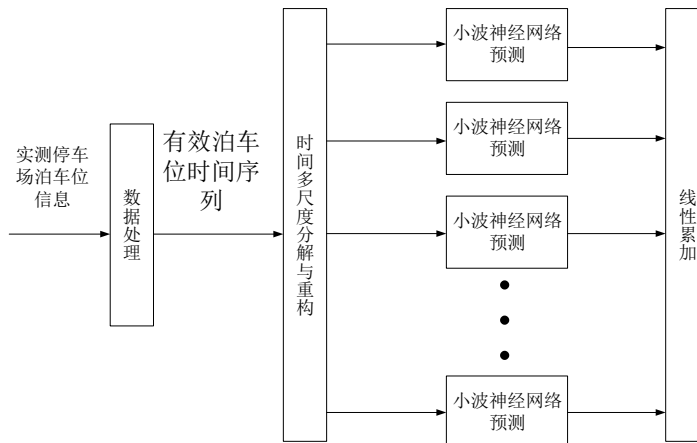


图 5.17 小波变换神经网络预测流程图

上述流程用文字描述为：

(1)首先选用 *Mallat* 算法，利用多分辨率分析对有效停车泊位时间序列进行为 N 尺度的多分辨率分解，经过分解之后，将得到一个 N 尺度的低频系数向量 C_N 和 N 个不同尺度下的高频系数向量 d_1, d_2, \dots, d_N 。

(2)用指定的小波函数分别对信号的 C_N 和 d_1, d_2, \dots, d_N 进行多尺度重构，对 $N+1$ 重构

的时间序列分别建立神经网络预测模型。

(3)得到预测结果 \bar{C}_N , $\bar{D}_1, \bar{D}_2, \dots, \bar{D}_N$ 。

(4)将上述 $N+1$ 个预测结果累加, 获得对应于原始有效停车泊位的预测结果, 即:

$$\bar{X} = \bar{C}_N + \bar{D}_1 + \bar{D}_2 + \dots + \bar{D}_N。$$

神经网络算法在 *Matlab* 中的部分程序如下:

```
[f1,f2,f3,f4,class] = textread('trainData.txt', '%f%f%f%f',150);
[input,minI,maxI] = premnmx( [f1 , f2 , f3 , f4 ])' ;
s = length( class ) ;
output = zeros( s , 3 ) ;
for i =1:s
output(i , class( i ) ) =1 ;
end
net = newff( minmax(input) , [10 3] , { 'logsig' 'purelin' } , 'traingdx' ) ;
net.trainparam.show = 50 ;
net.trainparam.epochs =500 ;
net.trainparam.goal = 0.01 ;
net.trainParam.lr = 0.01 ;
```

5.3 实例数据分析

选取 2016 年 7 月 29 日(星期五)的数据作为测试集, 而由于训练集大小的选取在小波神经网络预测流程中占有很重要的地位, 如果不改变网络结构而改变训练集规模的大小会, 很明显的影影响预测精度和预测时间, 因此选择 25—28 日四天的数据作为训练集, 选取每天 6:00 到 23:00 的数据, 数据间隔为 1min, 每天共 1020 个数据点, 依次按照时间顺序, 以一日为步长, 选取 4 天(4×1020)的数据作为训练集, 每个训练集对应 80 个小波神经网络预测模型。预测结果与实际测试集数据间的标准误差值如图 5.18 所示。

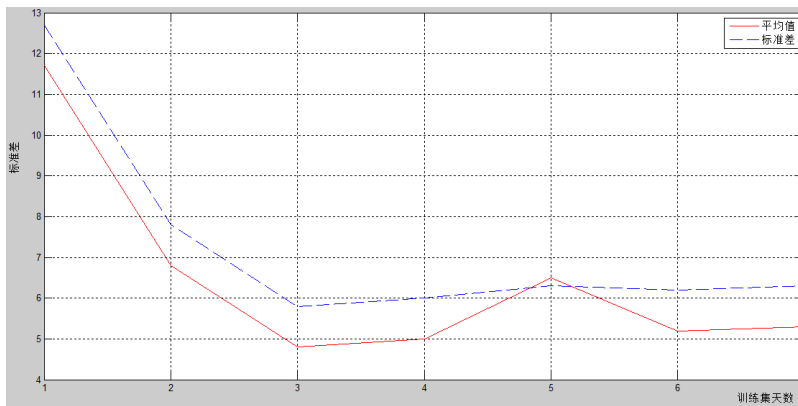


图 5.18 预测值的标准误差

将小波神经网络短时预测每个数据点的预测误差在图 5.18 中绘出,用最大李雅普诺夫指数预测值与神经网络预测值做对比,以两者平方差表示预测的准确性。从图 5.19 中可以看出,最大李雅普诺夫指数预测的预测均方差为 20,小波神经网络预测的均方差为 7。因此小波神经网络应用于短时停车泊位预测时更加有效。

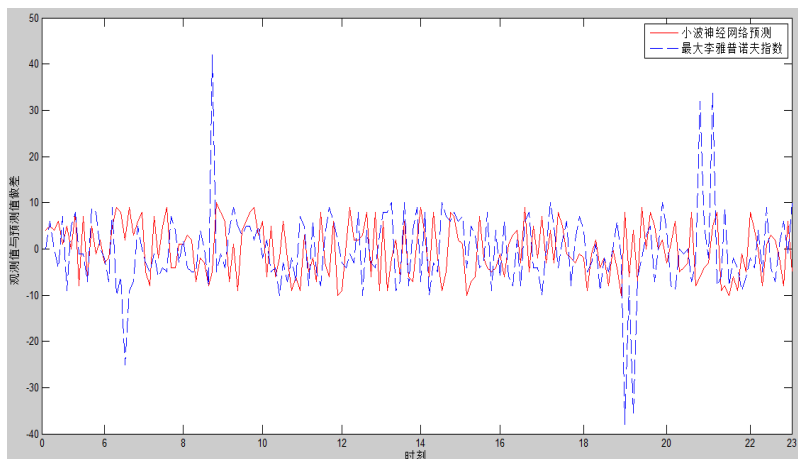


图 5.19 小波神经网络短时预测误差图像

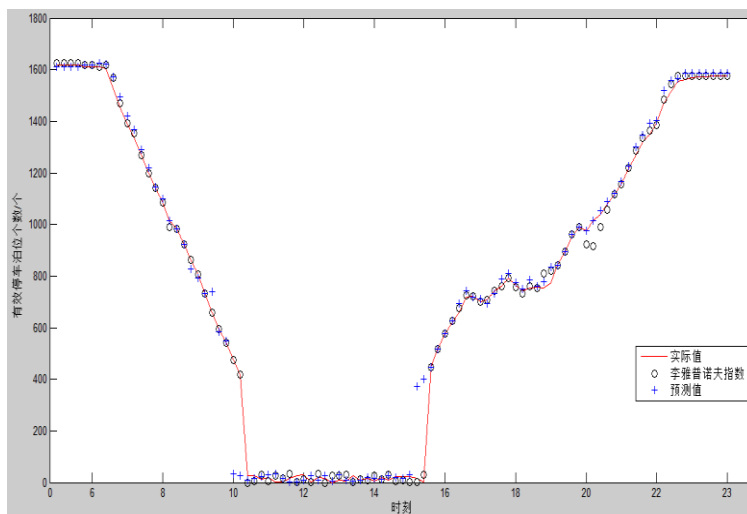


图 5.20 预测步长为 4 时预测结果图

小波神经网络的预测误差会随着预测步长的增加而快速增加，本论文中也得到了同样的结论，如图 5.20 所示，图中很明显看到小波神经网络短时预测在步长小于 4 时预测精度最高。

本论文首先对于统计数据中第 1 到第 4 天的数据进行分析，获得相应的统计特征，通过机器学习来预测第 5 天的变化趋势。

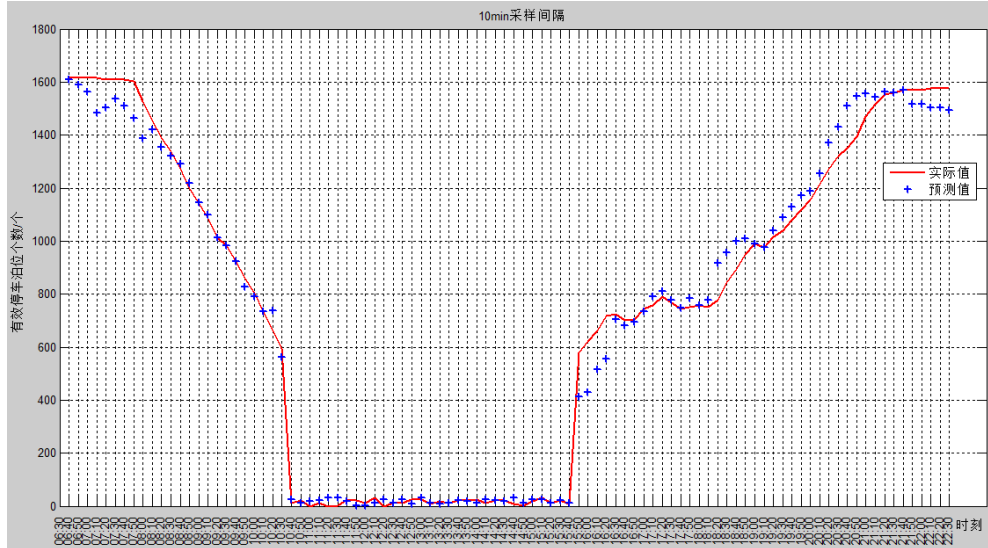


图 5.21 以 10min 采样间隔进行第一次预测

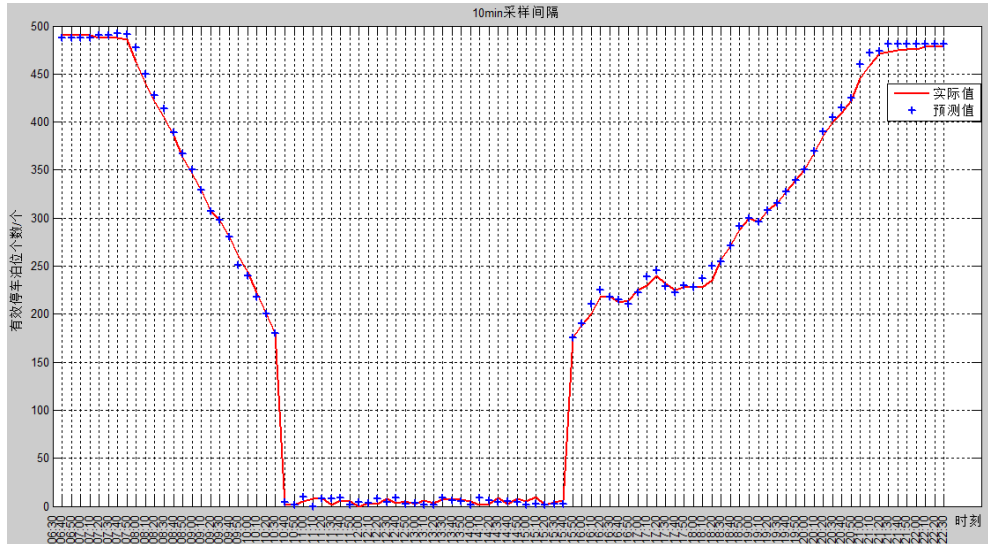


图 5.22 以 10min 采样间隔进行第十次预测

如图 5.21, 5.22 所示，在进行前几次预测时，预测偏差较大，但经过 10 次迭代之后，预测值已经可以很好的跟随真实值。

表 5.1 预测平均标准误差

预测次数	均方差	预测次数	均方差
1	84.2	6	43.8
2	74.2	7	35.2
3	68.5	8	26.1
4	67.3	9	15.7
5	66.6	10	4.3

5.4 本章小结

本章主要目的为准确预测停车场的停放状态，从预测到停车场的有效泊位数量，但是考虑到采用较小的采样时间间隔时，偶发因素会造成数据的强烈波动，因此需要采取适当的方法对原始数据加以预处理来避免后期产生误差。

论文采用了小波变换中的 *Mallat* 算法和 *ESLOM* 算法对数据进行预处理，首先通过小波变换将表示有效泊车位数量的时间序列分解为代表稳定趋势的低频信号和表示细节波动的高频信号，然后通过 *ESLOM* 算法对于高频信号中的离群数据加以剔除，最终利用小波变换中的信号重构将经过分解的数据恢复。

当数据经过预处理之后，论文将连续五个统计日中前四个统计日的数据作为训练集，对小波神经网络展开训练，并用第五个统计日的数据作为测试集对于神经网络预测精度进行评价。论文同时将神经网络的预测结果与最大李雅普诺夫指数的预测结果进行了比较，相比较最大李雅普诺夫指数预测，本论文中使用方法精度更高。

第六章 基于 Agent 的消费者停车选择模型

近些年来,随着我国机动车保有量的增加,在许多大城市的传统商业区出现了停车难的问题。不同区域、不同建筑产生的停车问题较为复杂,诸如停车位供给不足、管理不到位、停车信息引导不及时等各类原因都会引起停车困难。停车行为作为大量社会经济活动所派生出来的一种活动,其目的性一般都较为明确,如医院的停车需求是由于病人就诊的活动引起,写字楼的停车需求由于各公司的商务活动引起,商业中心的停车需求则是由于消费者的消费和休闲活动引起,不同的行为,产生了不同的停车需求,由于目的和诉求不同,其行为也不尽相同,不同的停车行为,会造成对停车资源占用情况大不相同的。

本章基于前面章节的研究,通过建立合适的模型,模拟消费者在消费休闲的停车过程中,由于不同的停车状况可能会引发停车行为的变化,摆脱以往停车分析完全依赖于土地或者无法反应随着城市开发的动态变化而引起消费者停车的变化。

近年来多代理人技术发展迅速,已经成为研究者通过模拟个体行为解释集合现象的有力工具, *Multi-Agent* 就是多个 *Agent* 组成的两两交互的智能体集合,其整体的智能性建立在 *Agent* 之间的交互协商和自我进化之上,根据其特点可以建构自下而上的数据共享、交互协商的分布式智能群体控制模式来实现对现实情况的模拟。

Multi-Agent 目前在交通方面主要用于城市交通微观层面的模拟仿真,如吴笛利用 *Agent* 对于的轨道交通枢纽内设施行人进行仿真^[133]、蔡朝晖利用 *Agent* 对于道路交通流进行控制模拟^[134]、余沛利用多代理人对于的城市道路平交口混合交通流动态模拟进行研究^[135]、李静利用多代理人对实时信息下驾驶员行为进行仿真研究^[136]、崔娜利用多智能体协商的方法对于驾驶员路径选择行为进行仿真研究^[137]、文颖基于 *MAS* 系统进行停车设施规划研究^[138]、崔建勋基于多智能体仿真的实时信息下驾驶员路线选择行为进行了研究^[139]、王子甲利用行人 *Agent* 对于轨道交通车站设施规模及布局研究^[140]、陈鹏用多智能主体行人 *Agent* 对人群流动形态动态进行模拟研究^[141]。

2. 已有交通仿真程序及国内交通仿真研究对停车问题的研究情况

交通仿真研究从上世纪 60 年代开始,经历了较长时间的发展,目前对交通仿真模型的研究可以划分为从宏观、中观、微观三个层次进行。宏观诸如最典型的 *Transcad*,其关注点主要在于采用聚集度高的流体模型来描述交通流的时空变化,模型关注的是车流

整体的移动规律，不涉及单个车辆。目前主流的中、微观层次的交通仿真模型包括 *VISSIM*、*Paramics*、*CUBE*、*AISUM* 以及美国新开展研究的 *NGSIM* 等，其主要研究对象为车辆在中微观角度的车辆轨迹、加减速、换道机制等的研究，对于停车而言，主要集中于车辆在特定条件停车场情况下的轨迹变化、排队等的研究，或者说，以上软件的模拟基本上是基于交通的模拟，而非行为的模拟。

6.1 消费者停车行为的初始化与前景理论

在本论文的第四章中，已经利用 *Logit* 模型，建立起了基于效用最大化的消费者停车选择模型，模型参数分别考虑了消费者个人社会因素和商业中心的空间结构因素，表达了不同类型消费者在单纯考虑效用最大化的情况下的选择概率，论文将其设定为消费者停车行为的初始化选择方式，即消费者在第一次进入商业中心时，其行为符合期望效用模型所表达的效用最大化假设。

和所有的效用最大化理论一样，理论假设所有出行者都是绝对性理性，而且效用最大化是一成不变的，消费者行为不会发生变化，但是如著名的阿莱悖论所证明的，消费者的实际选择往往与“期望效用最大化假说”相背离。

6.1.1 阿莱悖论和前景理论

1952 年，法国经济学家阿莱通过一个实验，对于期望效用理论提出了质疑，实验提出了著名的阿莱悖论^[118]：作者对 100 人测试所设计的赌局发现，期望效用理论无法解释实际的实验结果，绝大部分人选择了结果最为确定，而非并非效用值最大的结果。

鉴于阿莱悖论的出现，1979 年 *Danial Kahnmen* 和 *Amos Tversky* 提出了前景理论^[119]，前景理论可以认为更着重强调人们的行为选择在受到心理因素作用的时候可能产生的影响。

前景理论最早产生于经济学领域，用于描述在不确定情形下的投资、彩票选择等经济行为，被认为比期望效用理论有更好的描述性。它由经济学家 *Kahneman* 和 *Tversky*^[120] 提出，它是对期望效用理论的一种修正，它认为个体在决策时并非完全理性，存在参考点依赖、损失规避、对概率的感知存在缺陷等特点。前景理论的主要理论假设包括以下几点：

1) 参考点依赖：决策者对可选方案价值的评估不取决于该选项的绝对价值，而是取决于其绝对值与参考点 (*RPT*, *Reference Point*) 的差值，通过与该参考点的比较来决

定该选项是产生收益还是损失。

2) 情景依赖：决策者并非完全理性，其对可选方案的偏好受到所处情景以及各个备选方案的表现形式的影响。

3) 损失规避：面对同等程度的收益或者损失，损失带来的负效用要高于收益带来的正效用。

4) 敏感性递减：随着收益或损失的增加，其产生的边际效用递减。

5) 非线性权重：面对可选方案的风险或不确定性，个体感受的概率与实际概率有偏差。已有研究认为，个体往往会高估低概率，低估高概率。

6) 不固定的风险态度：面对不同情况决策者可能表现出不同的风险态度。面对收益的不确定时，大多数决策者表现为风险规避；而在面对损失的不确定时，如果损失的概率很小，大多数人会表现为风险规避，其他时候则表现为风险偏好。

前景理论将人的决策行为分为编辑阶段 (*editing phase*) 和评估阶段 (*evaluation phase*)。

在编辑阶段个体将各选项的价值与参考点对比，确定各备选方案产生收益或是损失。在评估阶段，个体利用价值函数 (*Value Function*) 和权重函数 (*Weighting Function*) 计算备选方案可能产生的价值以及对应的感知概率，并计算方案前景值。目前应用最为广泛的价值函数和权重函数是由 *Kahneman* 和 *Tversky*^[120]提出的，如式(6.1)，(6.2)以及(6.3)。

$$\Delta x_i = x_i - x_0 \quad (6.1)$$

$$v(\Delta x_i) = \begin{cases} \Delta x_i^\alpha, & \Delta x_i \geq 0 \\ -\lambda(-\Delta x_i)^\eta, & \Delta x_i < 0 \end{cases} \text{ 其中 } 0 < \alpha, \eta < 1, \lambda \geq 1; \quad (6.2)$$

$$w(p_i) = p_i^\gamma / [p_i^\gamma + (1 - p_i)^\gamma]^{1/\gamma}, \text{ 其中 } 0 < \gamma < 1; \quad (6.3)$$

其中，

x_i ——备选方案某属性 x 的可能取值；

x_0 ——属性 x 对应的参考点值；

p_i ——属性值 x_i 出现的概率；

$v(\Delta x_i)$ ——价值函数；

$w(p_i)$ ——概率函数，用于计算个体感知概率；

λ ——损失规避参数， $\lambda \geq 1$ 表示相对与收益个体对损失的敏感度更大；

α, η ——敏感性衰减系数, $0 < \alpha, \eta < 1$ 表示收益和损失产生的边界价值递减;

γ ——权重函数系数, $0 < \gamma < 1$ 表示个体往往高估低概率, 低估高概率。

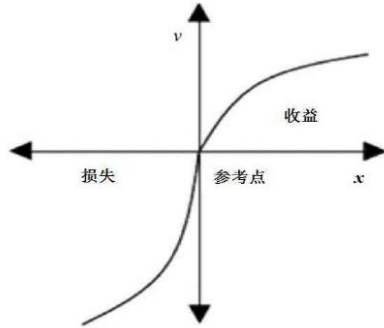


图 6.1 价值函数 (Kahneman 和 Tversky^{[120][121]})

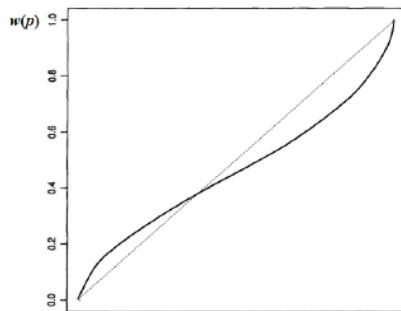


图 6.2 累积前景理论中的权重函数 (Tversky 和 Kahneman^[121])

6.1.2 前景理论在交通领域的应用

近年来许多学者将前景理论引入交通领域, 通过实验或实践分析, 对前景理论应用于交通行为选择分析的可行性和有效性展开研究。在交通选择行为中, 出行者面临较多的不确定性情形是出行时间的不确定。无论是路径选择、方式选择还是出发时刻选择、活动安排选择, 出行者都要考虑出行时间不确定性带来的影响并做出相应的反应, 因此, 将前景理论用于分析这些与出行时间不确定性相关的问题成为热点。

前景理论在交通学科的应用方兴未艾, 目前较多用于描述出行者的路径选择行为^[122-124]、出发时刻选择行为^[125,126]以及是否出行的选择行为^[127]等等。Avineri 和 Prashker^[122]借鉴 Kahneman 和 Tversky 设计彩票选择的方法, 进行了关于路径选择的问卷调查, 调查结果显示出行者的路径选择行为受到确定性效应的影响, 并且对小概率事件的发生表现出较高估计, 这与期望效用理论相背离, 却能够被前景理论很好的解释, 从而证实了前景理论在描述路径选择行为上的优势。

Gao 等^[123]构建了一对 OD 间的简单路网, 模拟在有路径引导信息下的路径选择行

为,用期望效用理论和累积前景理论分别对路径选择结果进行预测,发现这两种模型在预测结果上存在较大差别,而相比于期望效用理论,前景理论能更好的反应出行者对风险的双重态度:对高概率事件表现出风险偏好,对低概率事件表现出风险规避。*Xu* 和 *Zhou* 等^[124]同样构建了一个简单的路径选择情景,让调查参与者从两条具有不同停车等待时间分布的路径中做出选择,并分别用累积前景理论和期望效用理论对选择结果做出预测,证实前景理论能更好的预测出行者的路径选择行为。此外,他们还建立了一套新的推算参考点的方法,并对价值函数中的参数值做了新的标定。*Ramos* 等^[128]模拟了在有、无路况信息条件下的路径选择问题,并分别用期望效用理论、前景理论进行比较,证明了前景理论在路径选择问题上有较强的适用性。

Shiftan 利用双重模型 *M-L* 模型和嵌套式模型对于分析驾车者在不同停车管理政策下的反应进行分析,分析结果证明有稳定职业的人对于停车政策改变较为不敏感,其改变出行目的地可能性较低,而无稳定收入的人群则对停车政策的变化变现的较为敏感。姚荣涵将量子能级跃迁理论用于对于出行者出行方式的转移规律进行定量描述,*Qzbay K*通过建立基于出行时间价值的出发时刻选择模型去对美国新泽西州出台的拥挤收费政策进行评价,但是作者没有涉及次优化选择决策问题。

Thompson 等定义了一个分层次的停车场搜索过程,并突破了驾车者可获得完整信息的假设,估计了包括可达性、等待时间和费用在内的停车场效用值,用排队长度和离开率参数阐明了停车场的非确定性属性。该模型偏重于研究停车政策的影响,没有研究停车场信息影响下的选择行为。

相比与国外,国内有关前景理论在交通领域的应用研究刚刚起步。

赵凛,张星臣^[129]提出了基于前景理论的单次出行路径选择模型,确定了出行者的主观感知费用函数,并以简单的路径选择为例,借助 *SP* 调查数据比较了前景理论与期望效用理论的差异,论文的结论证明前景理论在很大程度上可以避免期望效用理论的缺点,更加准确的刻画出行者在不确定性条件下的路径选择行为。徐红利等^[130]在累积前景理论的框架下建立了随机网络用户均衡的等价变分不等式模型,并提出了求解模型的算法,通过简单的算例对模型合理性进行验证。通过对参数进行灵敏度分析,发现模型可以较好的反映出出行者的风险态度、出行者对系统服务水平的预期以及出行流量波动对网络均衡状态的影响。

杨志勇,颜桂云^[131]在前景理论的框架下研究实时交通信息影响下的路径选择问题,

利用贝叶斯理论对预测的路径停车等待时间进行更新与调整。赵凛^[132]在其博士论文中分别建立了基于前景理论的一次出行和多次出行路径选择模型，重点探讨了如何利用实施交通信息对贝叶斯模型进行更新，分析了在实时交通信息下的出行者路径选行为，并建立了基于 Agent 的出行者仿真实验系统。分析证明，与期望效用理论相比，前景理论更能准确描述出行者在不确定性条件下的路径选择行为。

6.2 Agent 的行为规则及模拟流程

本章以调查数据作为基础数据，通过模拟一个商业中心中消费者停车选择的变化过程，来解释消费者停车选择的变化如何由非稳态逐步达到稳态，同时也模拟了新因素进入之后，对消费者停车选择带来的冲击，以及系统最终达到重新平衡的过程，同时利用第五章建立的神经网络模型，去预测停车场的有效泊位数量。

本论文在进行模拟分析时，对于 Agent 行为规则做了如下的设定：

1. 消费者每次出行只选择一个停车场作为停放目的地，消费者在停车过程中不会接收到任何 PGIS 信息；

2. 由于消费者停车只是消费休闲活动链中的一个环节，消费者对于商户评价指标有多个维度，很难用量化指标对停车后消费者的感受进行描述，本论文主要基于消费者的停车体验—停车等待时间、停车场距离目的地距离两个因素，以及购物中心固有评价这一因素，共三个因素所组成的综合评价值加以评价。

3. 模拟中每个消费者 Agent 最大等待接受时间参照点按表 4.6 的统计数据随机设定，当产生停车等待超过表 4.6 数值时，则认为消费者利益受损。

4. 模拟所采用的 Agent 处在封闭环境中，模拟过程中不会选择新的商业中心，在一定的模拟时段内不会有新的消费者进入商业中心，商业中心中也不会产生新的购物中心。

5. 消费者总是选择综合评价值最高的停车场停放。

模拟的具体流程表述如下：

- 1) 建立由宏观决策层和微观决策层组成的双层智能模型构架；
- 2) 利用第三章中的 Agent 微观数据产生方法，产生 10000 个消费者 Agent；

3) 利用第四章建立的表示期望效用的 *Logit* 模型, 计算商业中心中各备选购物中心对每个 *Agent* 的期望概率, 并认为此概率即为每个消费者 *Agent* 第一次进入该商业中心选择购物中心的初始概率, 即双层模型中的战略层面选择概率;

4) 假设该商业中心的所有商户在模拟开始前车库初始状态均为完全清空。

5) 利用蒙特卡洛方法, 按照泊松分布和负指数分布生成消费者到达购物中心时刻和接受服务时间。

6) 建立消费者 *Agent* 双层智能体模型, 模型的战略层通过基于模糊评价的多目标综合评价值对于各个购物中心进行评价, 并设定消费者 *Agent* 只选择综合评价值最高的购物中心停车; 模型的战术层则主要负责计算每次停车后产生的等待时间和步行距离所带来的前景值和概率函数的变化。

7) 进行若干次迭代, 根据迭代结果观察消费者在商户间分布的情况;

模拟流程用流程图描述如图 6.3 所示:

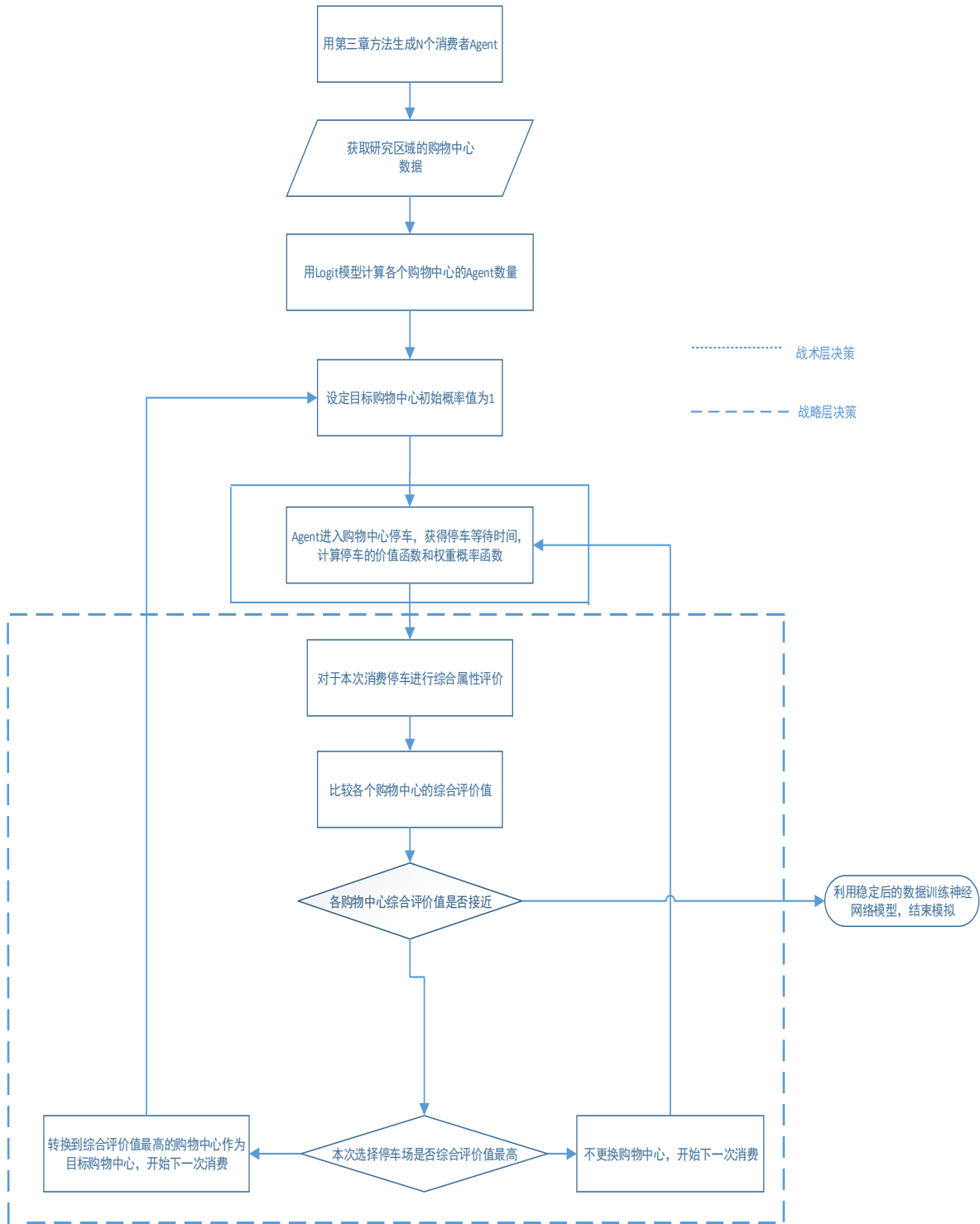


图 6.3 模拟流程图

6.3 消费者 Agent 的模型建立

建模的目的在于使驾驶员使用最便利、购物最愉快的出行方案；为商场实施特定商业战略提供可靠依据；为政府和规划部门深入了解居民的停车选择行为和停车决策机理提供依据。在搭建系统模型时，如果选择影响因素太少，模型的可靠性就降低；反之，

选择太多的影响因素，模型的实际应用性就会削弱。因此，选择合理的选择停车选择行为的影响因素，然后通过调查建立相应的模型，并验证模型的合理性，最后就各影响因素对停车选择行为的影响进行分析，提高模型的适应性。

本文基于 *J.Wahle* 等最早提出的双层智能模型的基础上，分别在战略层和战术层建立计算模型，来决定消费者 *Agent* 的行为。双层智能体模型框图如图 6.4 所示。

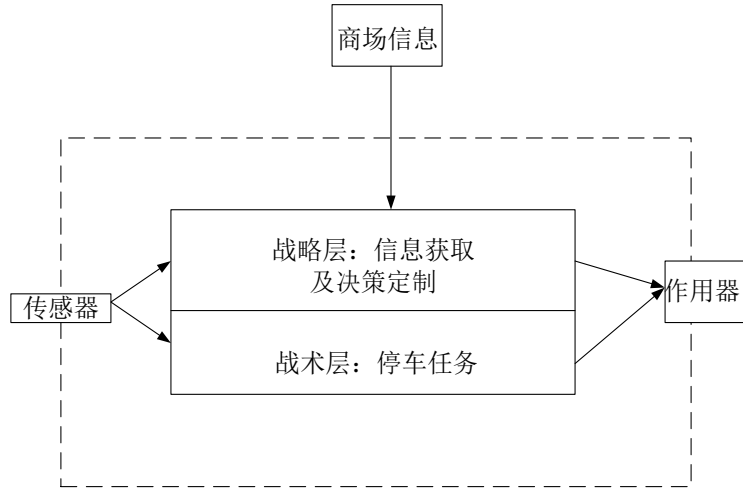


图 6.4 双层智能体模型

模型中的战术层主要包括：描述消费者自身信息，接收传感器信息及做出相应的反映。在本论文中战术层面只负责对于整个停车过程信息的收集、评价，也就是根据停车等待时间而对停车场进行基于前景理论的评价。停车场选择主要指车辆在战略层制订了停车决策后，依据其决策选择停车场。

模型中的战略层主要包括：负责决策的制定，即求出每个备选购物中心的综合评价，判断最优停车场，指导战术层完成停车行为。同时，战略层追踪战术层中智能体停车的信息，在决策制定过程中及时的更新信息，从而做出新的决策来影响战术层的停车活动。对于本论文而言，战略层面主要负责不同购物中心停车场之间综合评价值的计算和比较，从而在下次出行前确定停放目的地。

6.4 微观战术层 Agent 建模

Agent 模型中，消费者 *Agent* 根据自己的价值参照点，确定每个影响因素的价值函数。判断各备选方案的价值，这个过程表述如式 6.4：

$$x_{k,i}^T = T_{k,i}^{Desire} - T_{k,i} \quad (6.4)$$

如式 6.4 所示表示第 i 个消费者在第 k 个停车场的实际停车等待时间 $T_{k,i}$ 与参照点 $T_{k,i}^{Desire}$ 之间的差值。若认为消费者出行前所预测的停车等待时间为正态分布，其均值为 $\tau_{k,i}^T$ ，标准差为 $\sigma_{k,i}^T$ ，用其均值 $\tau_{k,i}^T$ 代替式 (6.4) 中的 $T_{k,i}^{Desire}$ ，从而进行计消费者以 $x_{k,i}^T$ 作为计算价值函数的依据。利用 Kahneman 所定义的价值函数的公式，可以得到停车等待时间的价值函数为式 6.5：

$$V(x_{k,i}^T) = \begin{cases} (x_{k,i}^T)^\alpha, & x_{k,i}^T \geq 0 \\ -\lambda(x_{k,i}^T)^\alpha, & x_{k,i}^T < 0 \end{cases} \quad (6.5)$$

式中： $V(x_{k,i}^T)$ 为第 i 个驾车者选择第 k 个停车场产生的等待时间的价值函数； α 为风险态度系数； λ 为规避系数。

当 $0 < \alpha < 1$ 时， α 的大小反应消费者对于风险的态度； $\alpha = 1$ 时，表示风险中立者， $\lambda > 1$ 表示消费者在收益和损失之间，对损失更加在意。消费者停车所花费的停车等待时间大于参照点则认为产生损失；消费者停车所花费的停车等待时间小于参照点则认为消费者得到收益，基于此分析，可分别得到商场评价和空余停车位的价值函数。

设 $(p_{k,i}^T)_1$ 表示驾车者的停车等待时间小于参照点的概率； $(p_{k,i}^T)_2$ 表示驾车者的停车等待时间大于参照点的概率。

$$(p_{k,i}^T)_1 = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_{k,i}^T} \int_0^{T_{k,i}^{Desire}} e^{-\frac{(t-\tau_{k,i}^T)^2}{2(\sigma_{k,i}^T)^2}} dt \quad (6.6)$$

$$(p_{k,i}^T)_2 = p(T_{k,i} > T_{k,i}^{Desire}) = 1 - (p_{k,i}^{Desire})_1 \quad (6.7)$$

依据 Kahneman 提出的概率权重函数的形式，概率权重的计算公式为：

$$\pi(p_{k,i}^T) = \frac{(P_{k,i}^T)^\gamma}{[(P_{k,i}^T)^\gamma + (1 - P_{k,i}^\tau)^\gamma]^{\frac{1}{\gamma}}} \quad (6.8)$$

Kahneman 经过实验标定，在获得收益时， $\gamma = 0.61$ ；在受到损失时 $\gamma = 0.69$ 。

权重函数与一般意义上的概率有很大不同，主要原因是由于概率权重函数被表达为概率的增函数，因此各个方案的概率之和不会等于 1，这与概率理论不相符合，例如：

$\pi(p_{k,i}^T) < 1$ ；当概率 P 较小时， $\pi(p) > p$ ，说明消费者者对于小概率事件更在意，而对大概率或者一般概率，消费者则可能由于认为其发生概率小而忽略。

6.4.1 驾车者计算评价价值

在上一节得到的停车等待时间的价值函数 $V(x_{k,i}^T)$ 及概率权重函数 $\pi(p_{k,i}^T)$ 后, 得到各备选停车场关于停车等待时间的前景值为:

$$PS_{k,i}^T = \sum V(x_{k,i}^T) \pi(p_{k,i}^T) = \frac{(x_{k,i}^T)^\alpha (p_{k,i}^T)_2^\gamma}{[(p_{k,i}^T)_2^\gamma + (1 - (p_{k,i}^T)_i^\gamma)]^{\frac{1}{\gamma}}} - \frac{(x_{k,i}^T)^\alpha (p_{k,i}^T)_2^\gamma}{[(p_{k,i}^T)_2^\gamma + (1 - (p_{k,i}^T)_2^\gamma)]^{\frac{1}{\gamma}}} \quad (6.9)$$

在调查区域内, 驾车人大都熟悉停车场至目的地的步行时间及停车场附近商场的相关信息, 用这两个影响因素的价值函数表达其前景值。

6.4.2 等待时间的计算

一般而言, 在计算停车等待时间时, 都认为停车是一个“生灭过程”, 系统的 t 时刻状态与前一个时刻状态相关, 当停车场有 n 个停车位, 车辆到达符合参数为 λ 的泊松分布, 停车时间服从参数为 μ 的负指数分布的时候, 在 $M/M/n/\infty$, $FCFS$ 的规则下, 可由下列公式计算出所需要的各项数值:

$$p_k = \begin{cases} \frac{\rho^k}{k!} p_0 & k = 1, 2, 3, \dots, n; \rho = \frac{\lambda}{\mu} \\ \frac{\rho^k}{n^{k-n} n!} p_0 & \end{cases} \quad (6.10)$$

停车场内平均车辆数如式 6.11 所示:

$$L = \sum_{k=0}^{\infty} k p_k = n = \sum_{k=0}^n k \frac{\rho^k}{k!} p_0 + \sum_{k=n+1}^{\infty} k \frac{\rho^k}{n^{k-n} n!} p_0 = \rho + \frac{\rho^{n+1} p_0}{n \cdot n! (1 - \frac{\rho}{n})^2} \quad (6.11)$$

停车场内等待停车的平均数:

$$L_Q = \sum_{k=1}^{\infty} k p_{n+k} = \frac{\rho^{n+1} p_0}{n \cdot n! (1 - \frac{\rho}{n})^2} \quad (6.12)$$

停车场内顾客消费时间的平均值:

$$W = \frac{L}{\mu} = \frac{1}{\mu} + \frac{\rho^n p_0}{n \mu \cdot n! (1 - \frac{\rho}{n})^2} \quad (6.13)$$

驾车者停车等待时间

$$T_{wait} = \frac{L_Q}{\lambda} = \frac{\rho^n p_0}{n\mu \cdot n!(1 - \frac{\rho}{n})^2} \quad (6.14)$$

但是实际上来看，这些公式计算出的也是“平均值”，即在一定较短时段内的均值，这对用 *Agent* 模拟停车，并且需要计算每个 *Agent* 的确切停车等待时间而言，存在着一定距离，因此论文在计算每个 *Agent* 的停车等待时间时候，采用了以下方式方法加以计算：

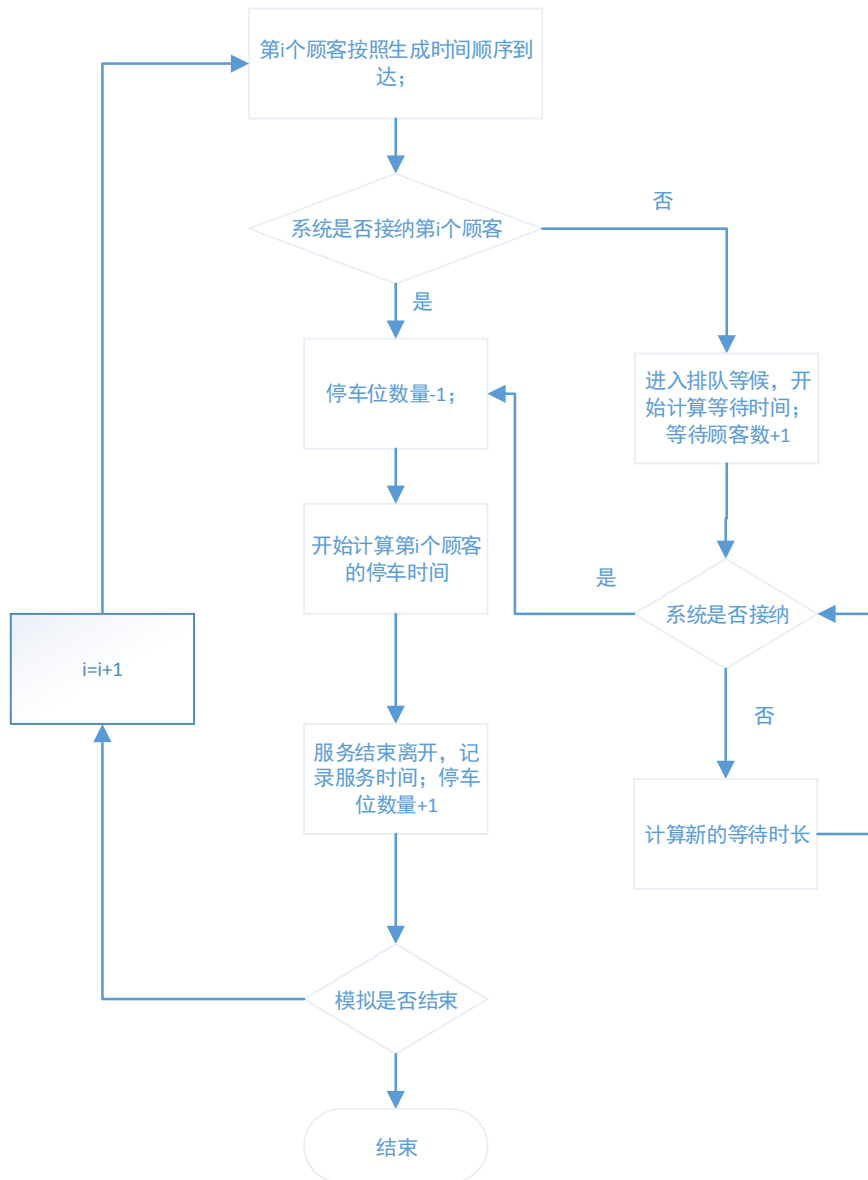


图 6.5 等待时间计算流程图

计算时所需要的到达率和服务率采用经过调查所获得的数据，其到达率分为三个时段，第一时段：10-12 点、第二时段：12-18 点、第三时段：18-22 点，其消费者到达的分布比例为：为第一时段 25%，第二时段 50%，第三时段 25%，消费者 *Agent* 到达的时

刻按照以上比例用蒙特卡洛方法生成。

服务率按照第四章中所做调查分布进行设置：停车两小时以内消费者比例为 56%，两小时到三小时以内为 32%，三小时以上为 12%，消费者 Agent 离开的时刻按照以上比例用蒙特卡洛方法生成。

6.5 宏观战略层 Agent 建模

6.5.1 停车选择战略层面影响因素及参照点建立

1. 影响因素的选择

依据第四章中所进行的调查，消费者在停车时所考虑的主要因素认为主要有：停车场与目的地的距离、进入停车场等待时间较短两项，但是考虑到消费者停车的主要目的是进行消费和休闲，因此在影响因素中增加商场评价这一因素。

2. 影响因素的取值

作为上一段落所确定的选择因素，其三个因素的取值分别按照以下方法确定：

停车场与目的地的距离根据大量的数据调查，司机能够接受的停车后最大步行距离为 200 米，超过 200 米以后，能够接受的司机比例较低，接受比例最高的距离一般在 100 米之内，具体分布频率见下表：

表 6.1 驾车者停车后能忍受的步行距离表

能忍受的步行距离 (m)	50 以内	51-100	101-150	151-200	201-250	251-300	超过 300	合计
样本比例(%)	28.24	32.82	14.50	10.69	3.05	2.29	8.40	100

数据来源：东南大学 周智勇《城市停车诱导信息系统功能设计及关键模型研究》

本论文计算距离的价值函数时，采用的参照点数值为 100 米。

停车等待时间参照点的按照第四章中表 4.6 的调查结果确定。

商场评价因素采的取值用第四章中所建立的 *MNL* 模型对于每个购物中心所计算得出的概率，这主要考虑到消费者对于商场的评价相对稳定，而且影响商场口碑的因素变动也较小，所以采用固定数值加以表示。

6.5.2 停车场综合属性值的计算

由于认为有多个因素影响消费者的停车选择，而且选出的要素均可以加以量化，因此在已选择出的影响因素中用模糊偏好下多目标决策的方法确定目标权重。选择该方法的依据是：所有备选停车方案在单一影响因素下的属性值差异越大，则说明该因素对驾

车者起到了较重的影响作用。基于此，可以判断出各目标的权重与其离差相关，离差越大，权重也就越大。其步骤可以描述为：

1) 设驾车者的 n 个备选停车场构成决策方案集 $B=[B_1, B_2, \dots, B_n]$ ，驾车者的停车选择的影响因素形成了决策目标集 $G=[G_1, G_2, G_3]$ ，其中 G_1, G_2, G_3 分别表示停车场与目的地的距离、停车等待时间，商场评价。在停车选择过程中，方案 B_i 对目标 G_i 的属性值为 ω_{ij} 建立停车场方案集对影响目标集的决策矩阵 $M_{n \times 3} = (\omega_{ij})_{n \times 3}$ ；三个集合的关系：

$$B_i = G_{ij} \times M_{ij}, \text{ 其中 } i=1, 2, 3 \dots n; j=1, 2, 3。$$

2) 将决策矩阵 M 进行归一化处理；

3) 计算各目标在方案下的离差，得到各目标的最优权重向量；

4) 计算各备选方案的综合评定值，根据综合评定值的排序选择停车场。

综合评定值的计算过程表述如下：

a) 首先按照已经介绍过的方法建立参照点，并计算各个影响因素的前景值或者概率。

b) 求出的各目标的前景值代表了驾车者的价值，属于效益型指标，采用式 6.15 的方法将决策矩阵转换为标准化矩阵 $S_{n \times 3} = (s_{ij})_{n \times 3}$ 。

$$s_{ij} = \frac{\omega_{ij}}{\sum_{i=1}^n \omega_{ij}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6.15)$$

c) 目标权重的确定。目标集 $G=[G_1, G_2, G_3]$ 中各目标的权重 $q_j, j=1, 2, 3$ 组成权重向量 $Q=[q_1, q_2, q_3]^T$ ，其中 ω_{ij} 为恒值，不随系统更新。标准化矩阵 S 中目标 G_j 对备选停车方案 B_i 与其他方案的偏差

$$v_i(Q) = \sum_{j=1}^3 |s_{ij} - s_{kj}| q_j \quad (6.16)$$

设目标下所有方案的总离差为：

$$v_i(Q) = \sum_{j=1}^3 v_{ij}(Q) = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^n |s_{ij} - s_{kj}| q_j \quad (6.17)$$

$i=1, 2, 3 \dots n; j=1, 2, 3$

设 $F(Q)$ 为所有目标对所有备选方案的总离差，建立优化模型使其最大：

$$\max F(Q) = \sum_{j=1}^3 v_j(Q) = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^n v_{ij}(Q) = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^n |s_{ij} - s_{kj}| q_j \quad (6.18)$$

满足 $\sum_{j=1}^3 q_j^2 = 1, q_j \geq 0, j = 1, 2, 3$ 。

构造拉格朗日函数：

$$F(Q, \lambda) = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |s_{ij} - s_{kj}| q_j + \lambda (\sum_{j=1}^3 q_j^2 - 1) \quad (6.19)$$

对 $F(Q, \lambda)$ 分别对 q_j 和 λ 求一阶偏导数，并令其结果等于零。得到：

$$q_j = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |s_{ij} - s_{kj}|}{\sqrt{\sum_{j=1}^3 [\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |s_{ij} - s_{kj}|]^2}}, j = 1, 2, 3 \quad (6.20)$$

最后进行归一化：

$$q_j = \frac{q_j}{\sum q_j}, j = 1, 2, 3 \quad (6.21)$$

从而求的模糊偏好下多目标的权重向量为 $Q = [q_1, q_2, q_3]^T$ 。

各方案的综合评价值分别为：

$$O_i = \omega_{i1} \times q_1 + \omega_{i2} \times q_2 + \omega_{i3} \times q_3 \quad (6.22)$$

在得到目标的前景值及其权重后，建立基于给予前景理论及多目标决策的停车选择模型。驾车者根据综合评价值做出最优选择，完成出行。

由于本论文模拟对象都有配建停车场，因此停车场距目的地距离这一因素权值取 0。

6.6 驾车者停车行为模型的验证

本章参照 Joachim Wahle 等人于 2002 年，在基于 Agent 的仿真建模方法对两种路径情况进行仿真的基础上，对实时信息影响下的驾车者选择行为进行讨论。为了验证已经建立好的模型的适用性，利用 VC 编写了程序，通过程序对于不同的场景进行模拟，从而验证模型的准确。编写程序的部分代码如下：

```
#include "stdafx.h"

#include "Learn.h"

#include "LearnDlg.h"

#include "math.h"

#include "time.h"

#ifdef _DEBUG
```

```
#define new DEBUG_NEW
#endif

// 用于应用程序“关于”菜单项的 CAboutDlg 对话框

class CAboutDlg : public CDialog
{
public:
    CAboutDlg();

// 对话框数据
    enum { IDD = IDD_ABOUTBOX };

protected:
    virtual void DoDataExchange(CDataExchange* pDX);    // DDX/DDV 支持
```

驾车者 Agent 生成采用第三章的 Agent 微观数据获取方法进行，生成的 Agent 微观数据如下：

Agent 社会属性如表 6.1~表 6.5 所示：

性别符合均匀分布，具体数据如表 6.2 所示

表 6.2 年龄分布表

年龄范围	20~30	30~40	40~50	50~60
人数	2013	2451	3245	2290

表 6.3 性别分布

性别	男	女
数量	5004	4996

表 6.4 学历分布情况

学历	硕士及以上	大学本科	专科	高中及以下
人数	1205	5874	1987	934

表 6.5 收入分布情况

月收入	4500 以上	3500~4500	2500~3500	1500~2500
人数	1379	4431	2195	1995

收入服从标准差为 1800，均值为 3707，且最最小值为 1480。

表 6.6 婚姻状况分布

婚姻状况	已婚	未婚	离异
	4896	4950	154

用第三章所述的反演模型进行校验模型的正确性。验证结果如下：

(1) 婚姻状况

表 6.7 年龄与婚姻状况分布相关性

编号	年龄段	未婚已婚离异
1	20~30	60.4% 39.6% 0%
2	30~40	2% 87.7% 12.3%
3	40~50	0% 93.9% 6.1%
4	50 以上	0% 96% 4%

(2) 收入分布如图 6.6 所示

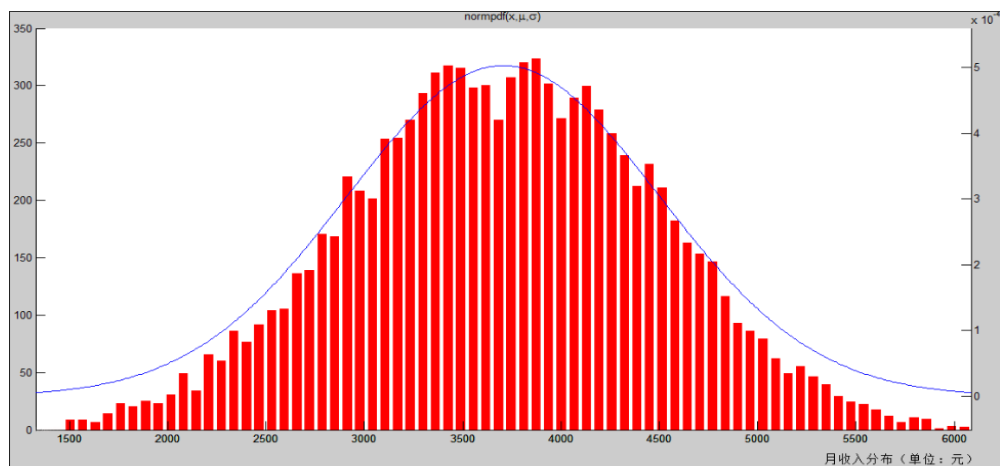


图 6.6 收入分布图

消费者初始停车场分布情况依据第四章中经过标定的 *MNL* 模型计算得出，如表 6.8 所示

表 6.8 停车场初始分布

停车场	A（赛格）	B（军区）	C（金沙）	D（开米）
人群分布	4005	3075	2007	913

6.7 调查数据

2016年7月30日到2016年7月31日西安市A(赛格国际购物中心)、B(金沙国际)、C(军人服务社商城)、D(开米广场)进行问卷调查。问卷调查的目的在于调查影响驾车者选择行为的主要因素。问卷调查结果：共发放520份，有效478份。

由于所调查的四个购物中心都投入运营有相当时间，所以认为其对于地区的影响和消费者停车行为的演化已经基本稳定，调查的四个购物中心情况见表6.9：

表 6.9 调查购物中心面积配建及总停放数量

购物中心名称	建筑 面积	配建车 位数	总停放 车次	建筑面积：配建车位：总停放车次
赛格国际	18	1600	6026	1:88:335
军人服务 社商城	7.2	400	1206	1:55:168
金沙国际	6	300	472	1:50:79
开米广场	1.3	80	236	1:62:181

6.8 基于 Agent 的停车模拟及分析

6.8.1 场景选定

通过表6.9，利用第四章所建立的 *Logit* 模型将10000个 *Agent* 的初始分配情况进行了计算，在随后的模拟中，消费者 *Agent* 将按照综合价值最大化的原则来进行停车选择，通过论文中所使用的算法和公式来模拟其行为变化，从而观察消费者 *Agent* 停车选择的演进情况。

模拟场景在选定时主要考虑了以下几个因素：

- 1.模拟场景中消费者 *Agent* 的数量应与整个商业中心的现状每日停车数量基本接近，用以验证本模型和实际情况是否相符，是否具有足够精度。
- 2.场景应反应消费者数量的逐步增加引起的停车选择的变化，因此应设定消费者 *Agent* 数量远大于现状消费者数量的场景。
- 3.场景应能够反应停车场的停车位数量变动可能引起的消费者 *Agent* 行为的变化。
- 4.场景应该能反应商业中心发展的动态变化带来的城市空间和消费者停车选择的变

化。

基于以上考虑，论文中模拟共设置了三大类，共五个场景，分别为：

第一大类场景，分别采用 10000 个 *Agent* 和 20000 个 *Agent* 来进行模拟，观察消费者基于综合价值评价的方法，在四个购物中心之间的转化情况；

第二大类场景，分别采用 10000 个 *Agent* 和 20000 个 *Agent* 来模拟将 A 购物中心（赛格购物中心）的车位数量调整为 2100 个（在原来的 1600 个的基础上增加 500 个）之后，消费者 *Agent* 在四个购物中心间转换的情况。

第三大类场景，模拟 A 购物中心新开业之后，由于新的加入者而使消费者停车选择产生变化的情况。

6.8.2 场景一模拟及结果

Agent 数量 10000 个，A、B、C、D 四个购物中心的停车位数量分别为 1600、400、300 和 80 个。

通过按照论文中提及的公式和算法所编写的程序的计算，在经过 10 次出行的迭代之后，消费者 *Agent* 分布情况如表 6.10 和图 6.7 所示。

表 6-10 迭代 10 次商场人数分布

迭代次数	A 商场	B 商场	C 商场	D 商场
1	4005	3075	2007	913
2	4005	3075	2007	913
3	5232	1767	1941	1057
4	6991	608	1544	851
5	7653	519	1292	528
6	7948	467	1188	388
7	7970	472	1198	349
8	7866	484	1279	358
9	7776	506	1352	352
10	7657	537	1433	358

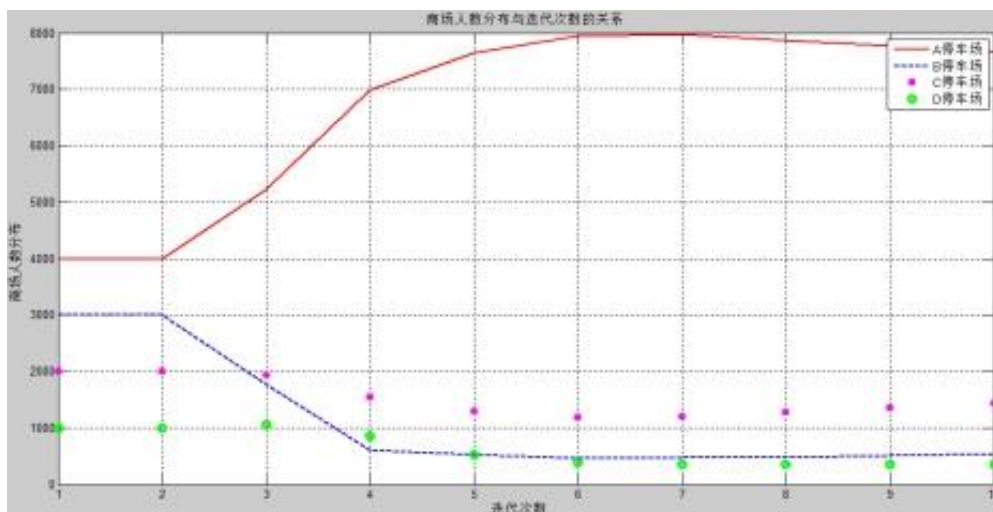


图 6.9 场景一 A 购物中心消费者 Agent 数量变动图 (10 次迭代)

在前两次迭代过程中, 由于 2 小时内停车没有产生停车等待, 所以驾车者对购物中心的评价不变, 因此, 各购物中心人数维持稳定, 前两次迭代过程中各购物中心人数不变。以 A 购物中心为例: 从第三次迭代开始, 随着 A 购物中心停车等待时间的延长, 驾车者对 A 商场的评价开始降低, 对部分消费者 Agent 而言, 当初始选择目的地综合评价值不再是最大值之后, 便开始迁出。

图 6.10~图 6.13 分别显示了四个购物中心在场景一的情况下迭代 100 次之后消费者 Agent 数量的变化情况。

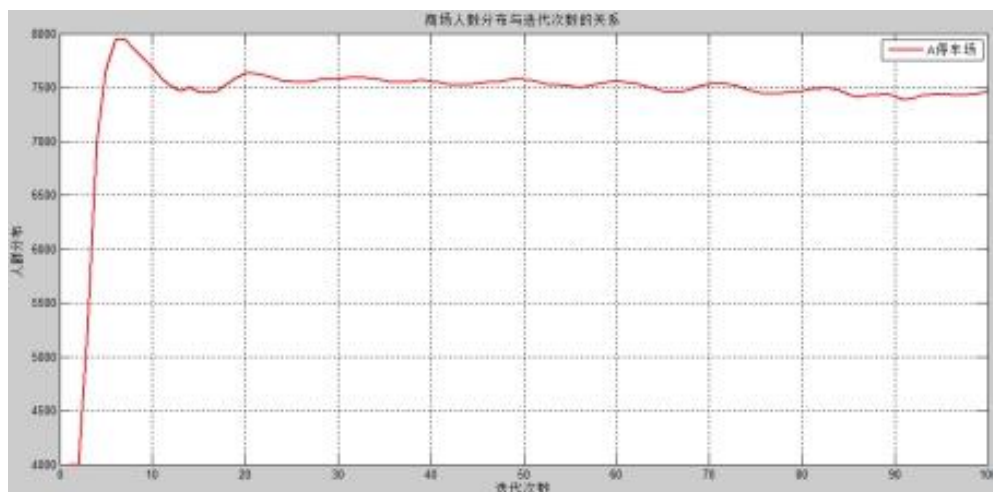


图 6-10 场景一 A 商场 100 次迭代 Agent 变动数量图

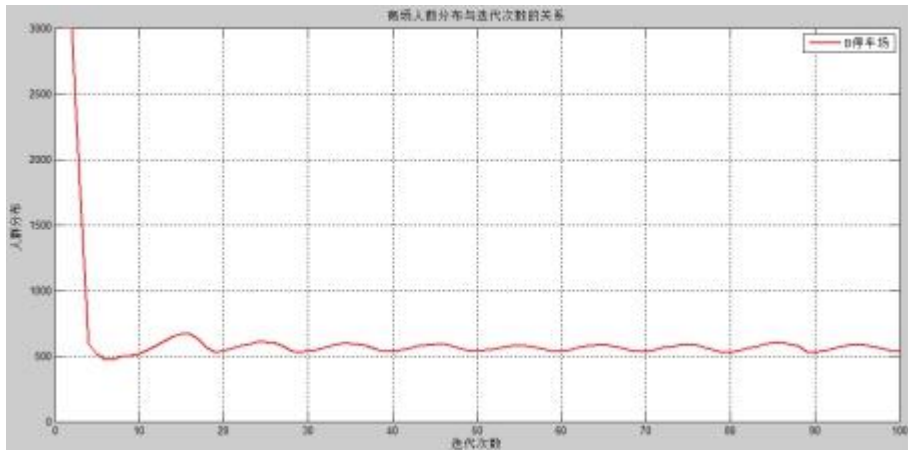


图 6-11 场景一 B 商场 100 次迭代消费者 Agent 数量变动图

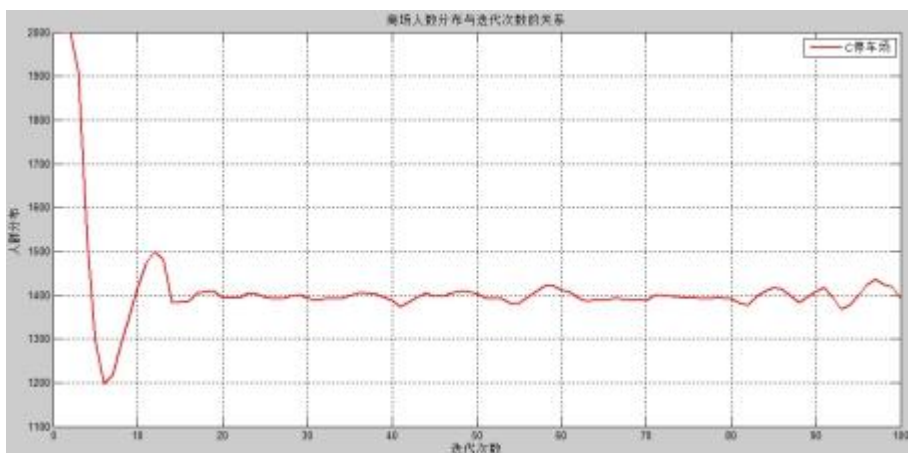


图 6-12 场景一 C 商场 100 次迭代消费者 Agent 数量变动图

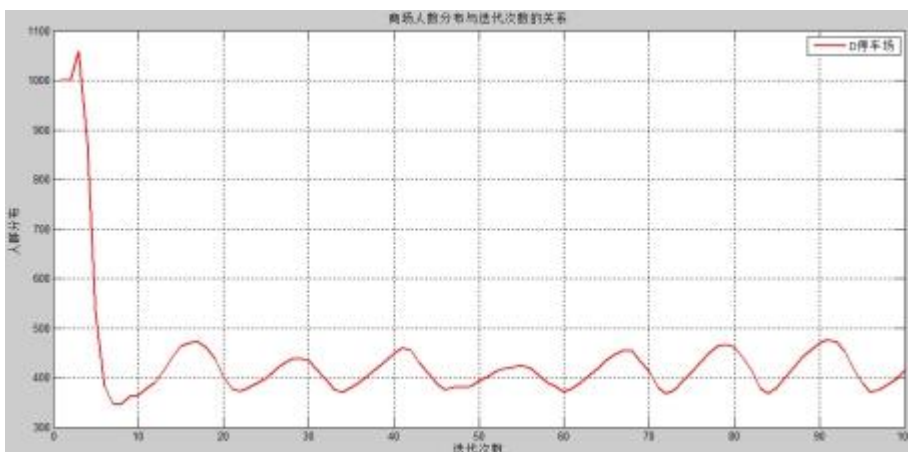


图 6-13 场景一 D 商场 100 次迭代消费者 Agent 数量变动图

如图 6-10 至 6-13 所示，随着迭代的逐步进行（也就是消费者对周围停车环境的逐步熟悉），消费者分布波动范围明显减小，分布有趋于稳定的趋势。以 A 购物中心为例：在经过 25 迭代后，分布基本趋于在 7500 人上下小范围波动。

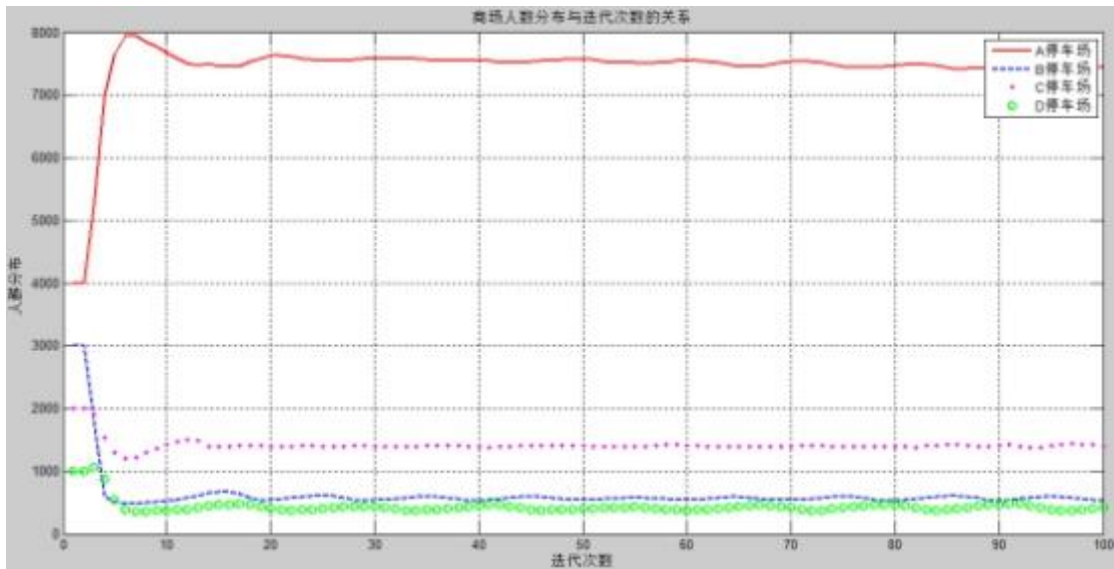


图 6-14 场景一 购物中心最终消费者 Agent 人数分布图

如图 6-14 所示,随着迭代次数的增加,可以很明显的看到由于停车的便利,A 商场吸引到更多的顾客,但是当 A 商场停车逐渐达到饱和,人数随即开始下降,最终在第六次迭代之后到达稳态。

表 6.11 场景一购物中心最终人数分布表

停车场	A	B	C	D
模拟消费者数量	7466	530	1390	414
实际消费者数量	6026	472	1206	236

注:表中实际消费者数量根据 7 月 30 日、31 日两天,各个购物中心的总服务车辆数均值得到

从上表中看到,模拟结果和实际调查结果很接近,部分购物中心模拟产生的消费者数量与实际统计数量有一定差距,这主要是由于模拟设置的 *Agent* 数量较小寨商业中心实际消费者数量多而造成。

6.8.3 场景二模拟及结果

Agent 数量 20000 个,A, B, C, D 四个购物中心的停车位数量分别为 1600、400、300 和 80 个。

表 6-12 场景二迭代 10 次后购物中心消费者 Agent 人数分布表

迭代次数	A 停车场	B 停车场	C 停车场	D 停车场
1	8640	7100	2940	1320
2	8640	7100	2940	1320
3	11259	3718	3479	1542
4	13655	1215	3318	1808
5	14532	1125	2839	1498
6	15545	1044	2513	891
7	15694	1045	2533	719
8	15645	1022	2635	687
9	15573	989	2720	705
10	15490	1012	2743	740

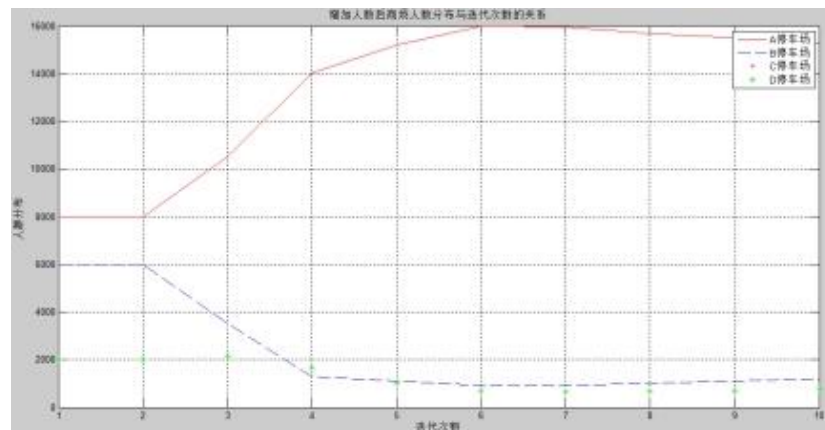


图 6-15 场景二 前 10 次迭代的迭代次数与人群分布

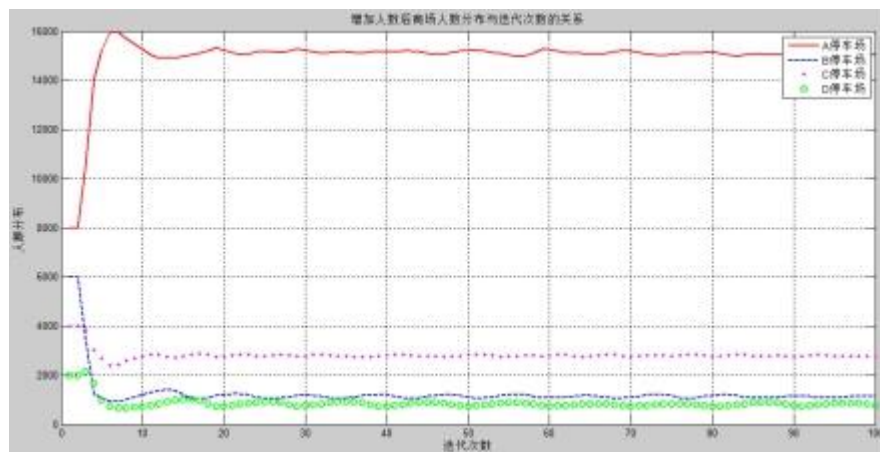


图 6-16 场景二 人数与迭代次数的关系图

从上面图表看到，随着消费者的增加，A 购物中心停车位数量较多这一优势，让 A 购物中心明显在竞争中占据了有利位置，新增的消费者大部分都转移到 A 购物中心，也就是说当停车情况恶化之后，较短的停车等待时间的优势对于消费者而言会有更大的吸引力。

6.8.4 场景三模拟及结果

场景设置：Agent 数量 10000 个，A，B，C，D 四个购物中心的停车位数量分别为 2100、400、300 和 80（A 购物中心增加 500 个停车位）。

表 6-13 场景三 A 购物中心迭代 10 次人数分布变化表

迭代次数	A 停车场	B 停车场	C 停车场	D 停车场
1	4320	3550	1470	660
2	4320	3550	1470	660
3	5781	1899	1603	714
4	7199	519	1483	794
5	7710	412	1171	700
6	8183	367	990	451
7	8239	390	1016	344
8	8264	399	1021	303
9	8240	409	1050	287
10	8214	424	1065	281

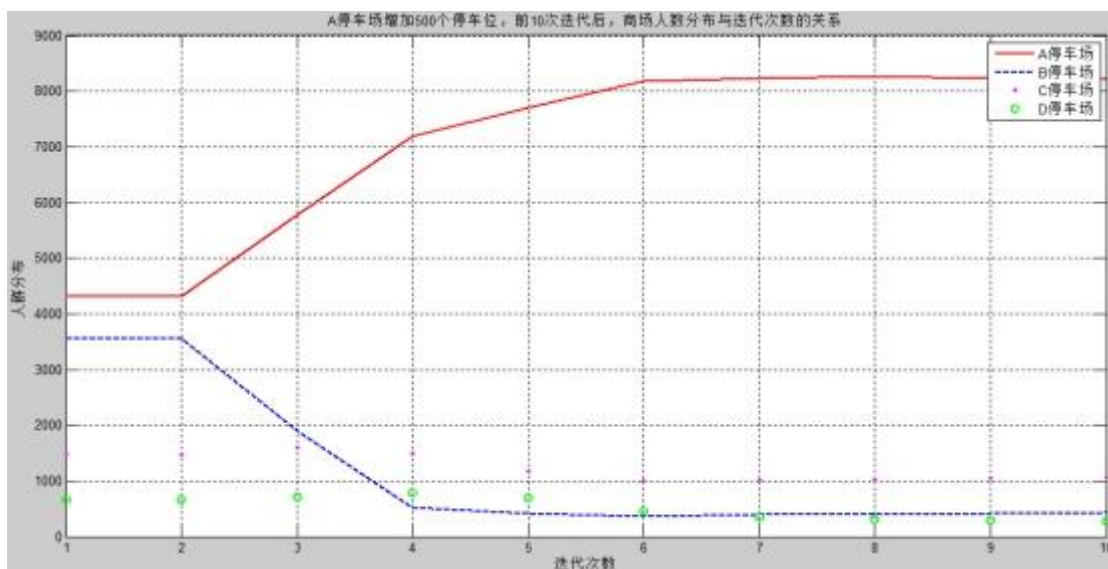


图 6-17 场景三 A 购物中心迭代 10 次后 Agent 人数分布图

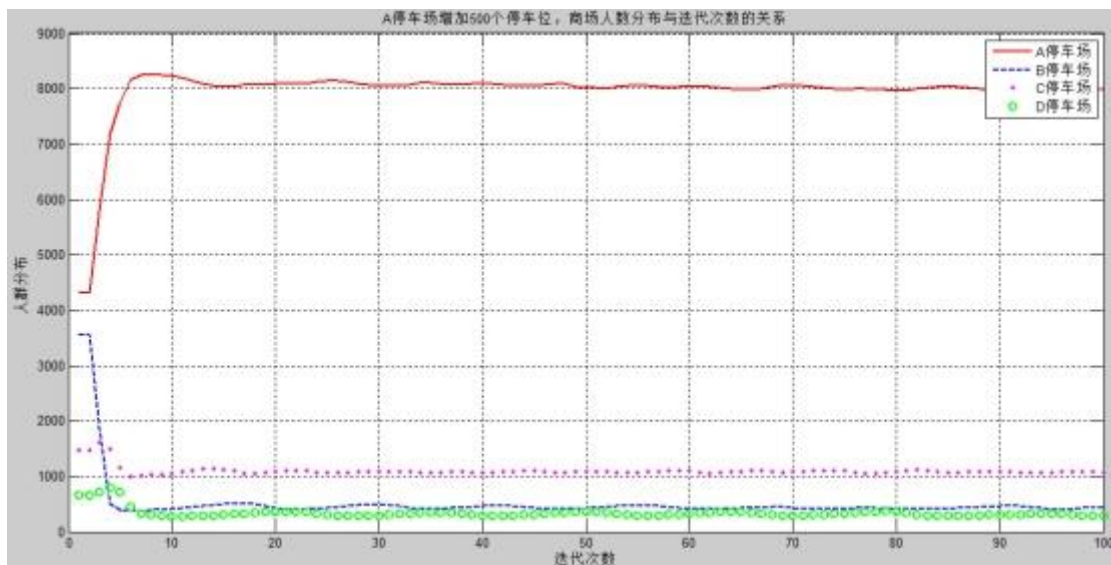


图 6-18 场景三 四个购物中心迭代 100 次后消费者 Agent 人数分布图

从上面的图表中看到，当 A 购物中心增加 500 个车位之后，产生了明显的“极化效应”，停车时间的缩短，使得消费者更倾向于选择 A 购物中心，其他商场都不同程度的产生了消费者数量减少的情况。

6.8.5 场景四模拟及结果

场景设置：Agent 数量 20000 个，A、B、C、D 四个购物中心的停车位数量分别为 2100、400、300 和 80 个（A 购物中心增加 500 个停车位）。

表 6-14 场景四 A 购物中心迭代 10 次人数分布变化表

迭代次数	A 停车场	B 停车场	C 停车场	D 停车场
1	8640	7100	2940	1320
2	8640	7100	2940	1320
3	11259	3718	3479	1542
4	13655	1215	3318	1808
5	14532	1125	2839	1498
6	15545	1044	2513	891
7	15694	1045	2533	719
8	15645	1022	2635	687
9	15573	989	2720	705
10	15490	1012	2743	740

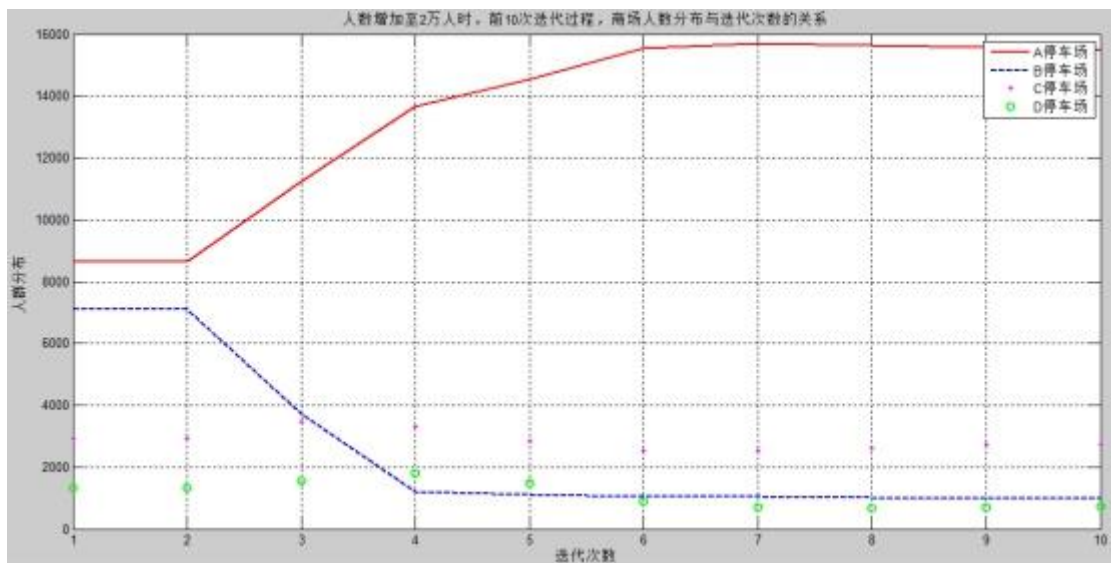


图 6-19 场景四 A 购物中心迭代 10 次后 Agent 人数分布图

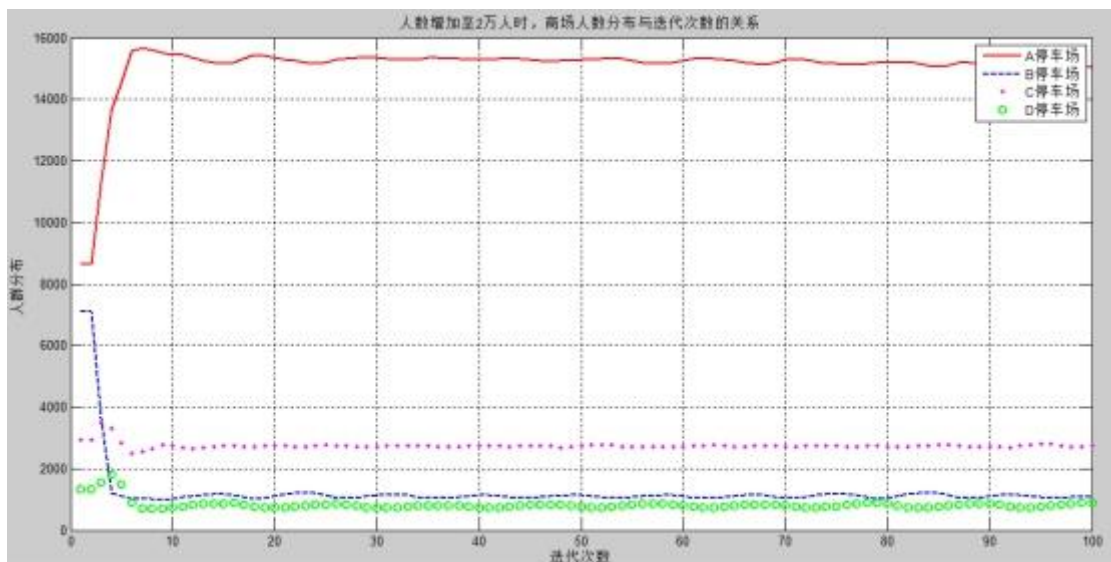


图 6-20 场景四 四个购物中心迭代 100 次后消费者 Agent 人数分布图

通过场景四和场景三的反演结果看到，随着消费者数量由 10000 增加至 20000，虽然 A 购物中心的车位数只是由 1600 个增加至 2100 个，但是其顾客人数已经由场景一的 7657 人增加至 15490 人，消费者增加幅度远远超过了车位数的增加幅度。

6.8.6 场景五模拟及结果

场景设置：场景五将 A 购物中心设置为刚刚开业的状态，消费者初始分布不遵守依靠 MNL 模型所计算出的初始概率的数值，模拟按照各个购物中心随机分布的情况给出消费者初始分布数值，用以观察消费者在四家购物中心之间流动的情况，这与各家购物中心刚开业时候情况相似，其“效用”的高低，完全按照消费者自身体验和消费者之间的信息传播来逐步建立，反映了消费者随着商业中心空间的变化而产生的行为的变化。

场景五消费者 *Agent* 数量为 10000 人，停车位数量为 1600、400、300 和 80 个。

表 6-15 场景五 A 购物中心迭代 10 次人数分布变化表

迭代次数	A 停车场	B 停车场	C 停车场	D 停车场
1	660	1470	3550	4320
2	660	1470	3550	4320
3	3949	1502	2613	1934
4	6564	1071	1806	555
5	7296	686	1522	490
6	8043	477	1117	354
7	8197	406	1064	322
8	8022	443	1208	314
9	7755	495	1379	356
10	7529	545	1509	399

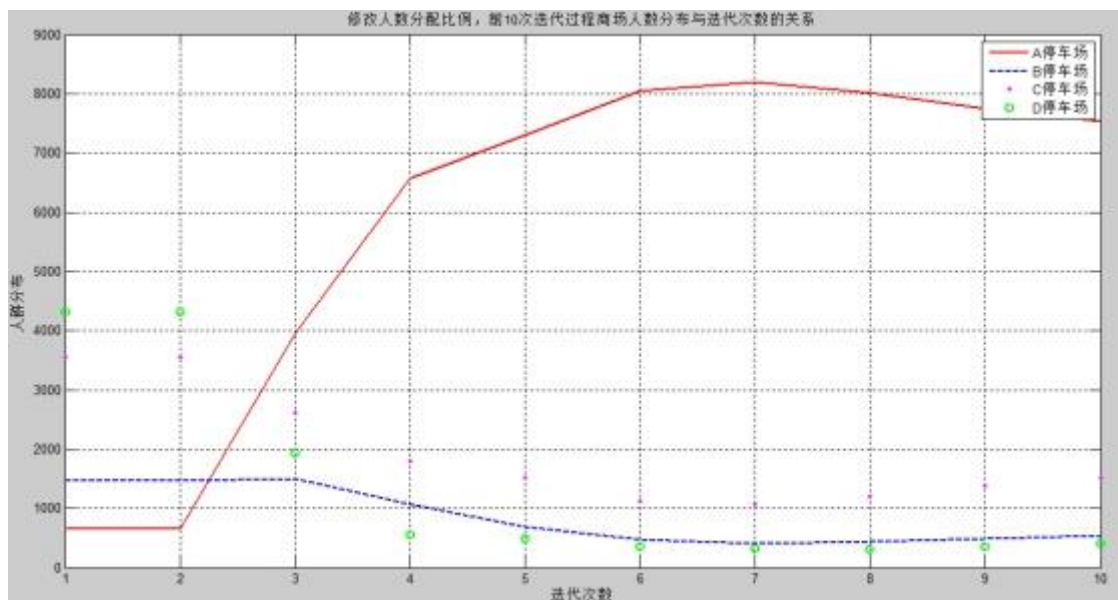


图 6-21 场景五 A 购物中心迭代 10 次后 Agent 人数分布图

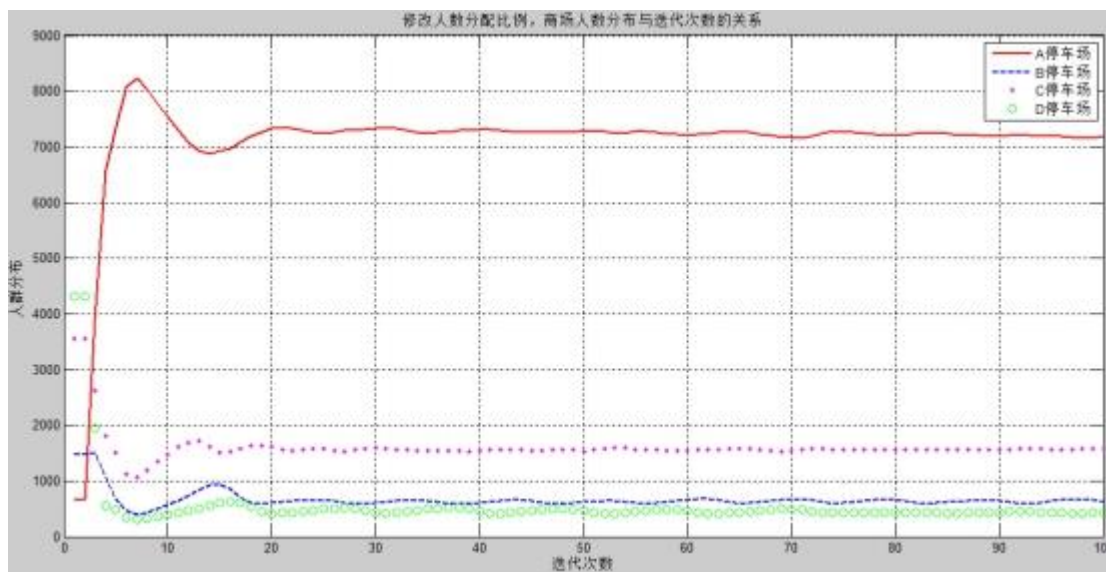


图 6-22 场景五 四个购物中心迭代 100 次后消费者 Agent 人数分布图

从场景五所进行的模拟结果中看到，虽然初始顾客人数没有按照“期望效用”进行分布，但是其最终人数分布却与场景一基本接近，这说明消费者在停车过程中明显存在着“趋利避害”的趋势，同时也证明了停车场停车位数量设置对于购物中心的吸引力有着较大的作用。

6.8.7 停车场有效泊位数预测模型在模拟中的作用

在本论文第五章利用小波神经网络模型，建立起了停车场状态预测模型，模型建立后用于在模拟过程中，当消费者的流动趋于稳定之后，用来计算停车等待时间。利用场景一、场景三的模拟数据，在消费者流动趋于稳定之后，用第五章建立的神经模型进行预测，得到的有效停车泊位数见图 6-23、图 6-24：

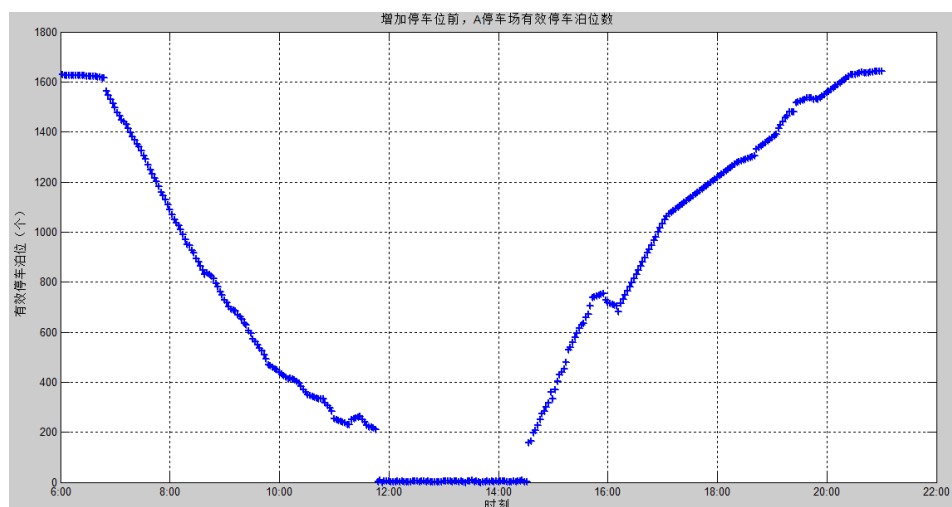


图 6.23 场景一 日有效停车泊位数量图

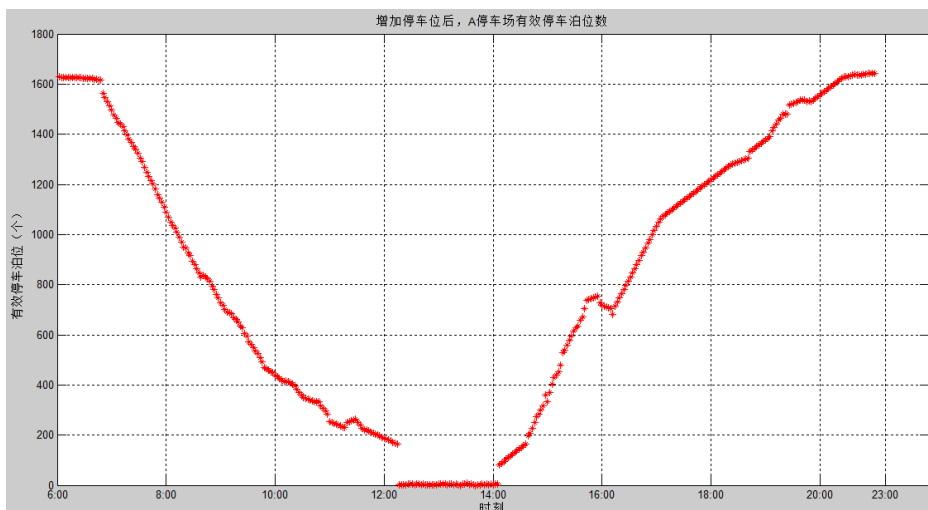


图 6.24 场景三 日有效停车泊位数量图

对比图 6.23 和图 6.24 可以很明显的看出停车泊位为零的时间明显缩短，下降趋势也变得缓慢。说明增加停车位对改善消费者停车体验有促进作用。

6.9 本章小结

本章通过利用论文中第 3 章—第 5 章、以及本章所建立的模型和算法，利用 VC 语言编写了程序，对共五个场景进行了模拟，通过对五个场景的模拟和分析，可以得到以下结论：

1.消费者在模拟所设定的封闭环境下，对于购物中心进行选择时，购物中心停车位数量的多少对于消费者的分布会产生很大影响，尤其是当停车状况恶化时，较短的停车等待时间会带来消费者越发倾向于选择停车等待时间较短的购物中心，论文将其描述为“相对效应”。场景四对于这一结论给予了较为明显的证明，当 *Agent* 数量由 10000 人增加至 20000 人之后，停车位数量仅仅增加 500 个，就导致了人数增加一倍左右。

2.购物中心的停车位数量的多少，会带来在停车选择上产生“极化效应”，也就是拥有较多停车位数量的购物中心，其单位面积产生的停车吸引数量远远大于停车位数量较少的购物中心。

3.消费者在停车时，对于选择停车场存在着“自平衡效应”的状态，也就是说消费者在对停车场选择时，总是会逐渐转移到停车等待时间较短的停车场，而放弃停车时间较长的停车场。

第七章 结论与展望

论文主要研究成果

本论文基于消费者行为并结合城市空间与消费者行为的关系，基于“社会人”的角度对于商业中心中消费者的停车行为进行分析和模拟，论文主要对于以下方面展开了研究：

1.通过文献研究，确定影响消费者行为的主要个人因素和主要城市空间因素，并发现两者之间的相互作用关系。

2.结合前述对于消费者行为影响因素的分析，建立了基于 *MNL* 的消费者空间选择模型，模型考虑了消费者个人特质和商业中心的空间结构因素，结合实际调查获得的数据，论文对于模型进行了标定，并对标定结果做了分析。

3.利用小波变换和 *ESLDM* 算法对于具有不稳定性的停车数据进行了数据预处理，利用预处理之后的数据训练了神经网络，用来预测停车场的短期停车位数量。

4.通过构建双层智能体 *Agent* 模型，利用基于模糊偏好下的多目标综合评价法，对于消费者在不同场景下的停车选择进行了模拟和分析。

论文主要创新

1.将对商业中心停车行为的分析视角从主要基于对于土地功能的分析，转变为对商业中心消费活动最主要组成因素——消费者行为和商业中心的空间的研究，明确了消费者停车需求的根本起因是消费者的消费需求和消费体验，这造成了商业中心消费者的停车行为与其它场合的停车行为存在根本的不同。论文拓宽了商业中心停车研究的视野，对于单纯基于土地功能的停车研究无法解释的问题，提供了较好的分析视角。

2.在对消费者停车模型的研究中，论文首先建立了消费者 *Agent* 的微观数据反演方法，为大批量 *Agent* 的行为模拟提供了技术支持，同时，论文在国内首次针对消费者从消费者行为和城市空间的角度建立了基于 *Agent* 的停车模型，模型较目前国内的停车模型能够容纳更多的消费者行为特质和城市空间的动态变化因素，模型中的消费者 *Agent* 可以被设定为具有不同的行为规则，不同的损益判断标准、会对商业中心空间结构变化

产生回馈、行为会产生累积效应的“社会人”，而不再将其视为完全理性的、不受效应累积影响的“经济人”，Agent 的行为更加个性化、更接近实际情况，是对以往模拟方法的重要完善。

3.对于任何停车模型研究而言，提供准确的停车场有效泊位数预测方法都是及其重要的工作，论文中将小波变换和离群数据处理方法用于对停车场停车位时间序列的数据预处理，避免了偶发事件造成异常波动对数据准确度的影响，结合论文中使用的小波神经网络，论文建立了可以自动剔除异常波动数据、具有较高预测精度的停车场有效泊车位预测模型，为停车模型研究提供了有力的技术手段。

有待进一步解决的问题

1. 由于论文只是针对较小范围的消费者行为进行了调查，其行为具有一定局限性，由于不同等级的购物中心消费者会有不同的行为，因此，还需要随着数据的完善对消费者行为特点进行完善。

2. 论文中只是对于消费者进入商业中心之后的行为进行了分析和模拟，但是消费者往往会从多个商业中心中选定出行目标，因此对于消费者出行前的行为和决策机制需要进一步进行研究。

参考文献

- [1] 乔丹,高春君.城市商业区停车诱导标志分级设置探讨—以南坪商圈为例[J].重庆建筑,2010,09(9):29-32.
- [2] 大城市商业区停车行为调查及初步分析[J].北京工业大学学报 2003,29(1):47-50.
- [3] Highway Research Board; Parking Principles,Special Report 125.Washington DC,1971.
- [4] ITE Technical Council Committee .Parking Generation (2nd Edition) .1987.
- [5] Mary S.Smith .Shard Parking[M].First Edition (1983).
- [6] Levinson H S.Zoning for parking a global perspective.ITE Journal,Nov.1984:18~22.
- [7] Mary S.Smith.Shard Parking[M].Second Edition (2005).
- [8] 上海市停放车辆调查分析总结报告,上海城市建设学院、上海市公安交通处,1989.
- [9] 城市停车设施规划导则[S].北京:住房和城乡建设部,2015.
- [10] 阮燕健.建筑物配建停车场研究[D].南京:东南大学,1998.
- [11] 凌浩.基于泊位共享的区域停车场规划研究[D].南京:东南大学,2012.
- [12] 李林波,王曼,董治等,基于泊位功能和区位条件的停车配建方法[J].中国公路学报,2010,23(1):111-115.
- [13] 代澍川.基于“共享停车分析理论”的综合开发地块停车泊位规模研究[D].成都:西南交通大学,2010.
- [14] 牟振华.“紧凑城市”下的城市中心区共享停车策略研究[D].武汉:华中科技大学,2007.
- [15] 王丰元,邹旭东.基于用地和交通特征的停车需求预测模型[J].交通运输工程学报.2007,(4):85-87.
- [16] 薛行健,欧心泉,晏克非.基于泊位共享的新城区停车需求预测[J].城市交通,2010,08(5):52-56.
- [17] 肖飞,张利学,晏克非.基于泊位共享的停车需求预测[J].城市交通,2009,7(3):73-79.
- [18] 刘洪营,马荣国,梁国华.城市商住综合体停车规模确定方法[J].长安大学学报(自然科学版),2009,5(29):96-98.
- [19] 宗芳.基于非集计模型的交通需求管理策略评价研究[D].长春:吉林大学,2008.
- [20] 王曼,吴兵,李林波.基于区位因素的建筑物停车配建指标分析[J].交通科技与经济,2009,11(2):69-71.
- [21] 缪立新,刘冰.城市中心商务区的土地利用形态与停车规划[J].城市规划,1999(3):50-52.
- [22] 秦焕美,关宏志,孙文亮等.城市混合用地停车共享需求模型——以北京市华贸中心为例[J].北京工业大学学报,2011,37(8):1184-1189.
- [23] 常健.城市商业步行街停车空间设计研究——以江汉路步行街为例[D].武汉:武汉理工

- 大学,2006.
- [24] 王天尧.城市商业中心区停车空间优化设计研究[D].长春:吉林建筑大学,2015.
- [25] 金晶.商业地下停车库空间环境与人类行为心理的关系[J].山东交通学院学报,2011,19(4):82-86.
- [26] J Polak, K Axhausen et al.THE BIRMINGHAM CLAMP STATED PREFERENCE SURVEY. 2ND INTERIM REPORT TO BIRMINGHAM CITY COUNCIL,1989.
- [27] YOUNG, W..A network model for parking facility design. 《Traffic Engineering & Control》,1986,27.
- [28] 室町泰德,1991 年度第 2 回日本都市计划学会学术研究论文集[C],1991.
- [29] RG Thompson, AJ Richardson A Parking Search Model,《Transportation Research Part A Policy & Practice》,1998,32(3):159-170.
- [30] RG Thompson,K Takada, S Kobayakawa.Optimisation of parking guidance and information systems display configurations. 《Transportation Research Part C Emerging Techno...》,2001,9(1):69-85.
- [31] Zhi-Chun Li, Hai-Jun Huang, William H.K. Lam.Modelling heterogeneous drivers' responses to route guidance and parking information systems in stochastic and time-dependent networks. 《Transportmetrica》,2012,8(2):105-129.
- [32] D Jyoti,S Wagh.Management of Parking Guidance Information System based on WSN.
- [33] 吴涛,1999 年 99 上海国际交通学术研讨会论文选[C],1999.
- [34] AN Shi, J Wang, HY Pan.Analysis and modeling of parking behavior. 《哈尔滨工业大学学报(英文版)》,2001,8(2):120-124.
- [35] 关宏志.中心商业区停车设施开发中的问题及其解决方法[J].城市规划,2000(12):55-57.
- [36] 肖青.商业建筑停车配建指标研究[D].北京:北京工业大学,2010.
- [37] 李超.城市商圈停车特性与停车选择研究[D].重庆:重庆交通大学,2014.
- [38] 刘兰辉.大城市商业区停车行为研究[D].北京:北京工业大学,2002.
- [39] 张钧.城市机动车车辆停放特性分析与停车需求预测研究[D].南京:东南大学,2005.
- [40] 姚胜永.大城市商业区停车时段长度选择模型研究[D].北京:北京工业大学,2004.
- [41] 袁华智,冯忠祥,蹇小平等.城市中心区域小汽车停车设施选择模型[J].公路交通科技,2012,29(10):137-141.
- [42] 周智勇.城市停车诱导信息系统功能设计及关键模型研究[D].南京:东南大学,2004.
- [43] 严海,杨晓光,严宝杰.特殊活动的停车选择模型研究[J].中国公路学报,2005,18(2):90-93.
- [44] 季彦婕,王炜,邓卫.出行前停车诱导系统中两阶段停车选择方法[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2008,32(6):979-982.

- [45] 王志利.基于前景理论的停车选择行为研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2011.
- [46] 畅芬叶,谢秉磊,王志利.基于多智能体的停车选择行为仿真研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版),2012,36(6):1283-1287.
- [47] 董贺轩,卢济威.作为集约化城市组织形式的城市综合体深度解析[J].城市规划学刊,2009(1).
- [48] 吕玉印.城市发展的经济学分析[M].上海:上海三联书店,2000.
- [49] 曹嵘,白光润.交通影响下的城市零售商业微区位探析[J].经济地理,2003,23(2):247-250.
- [50] 张伟,王帅,赵佳.北京市近郊大型购物中心的微区位研究——基于燕莎商城燕莎桥店、OUTLETS店、金源店的分析[J].首都师范大学学报(自然科学版),2009,30(5):86-92.
- [51] 王曼,吴兵,李林波.基于区位条件的停车配建指标研究[J].交通信息与安全,2009,27(1):44-47.
- [52] 王德,王灿,谢栋灿等.基于手机信令数据的上海市不同等级商业中心商圈的比较——以南京东路、五角场、鞍山路为例[J].城市规划学刊,2015(3).
- [53] 王根城.大城市区域交通影响分析方法研究[D].北京:北京工业大学,2007.
- [54] 姚伯岳.中国大百科全书(新闻出版)[M].北京:中国大百科全书出版社,1990.
- [55] 尹世杰.当代消费经济词典[M].成都:西南财经大学出版社,1991.
- [56] Lee M, Consumer culture reborn: the culture politics of consumption.[M] London: Routledge
- [57] CRP Featherstone Fission yeast p107wee1 mitotic inhibitor is a tyrosine/serine kinase. 《Nature》,1991,349(6312):808-11.
- [58] Mary Douglas Baron Isherwood .The world of goods .Routledge,1996.
- [59] 柴彦威,沈洁,翁桂兰.上海居民购物行为的时空间特征及其影响因素[J].经济地理,2008,28(2):221-227.
- [60] 仵宗卿,柴彦威,戴学珍等.购物出行空间的等级结构研究——以天津市为例[J].地理研究,2001,20(4):479-488.
- [61] 庄贵军,曾仕龙,李福安等.购物中心顾客行为的跨地区比较:西安与香港[J].预测,2004,23(1):37-42.
- [62] 王德,张晋庆.上海市消费者出行特征与商业空间结构分析[J].城市规划,2001,25(10):6-14.
- [63] 王德,李光德,朱玮等.苏州观前商业街区消费者行为模型构建与应用[J].城市规划,2013,37(9):28-33.
- [64] 王德,农耘之,朱玮.王府井大街的消费者行为与商业空间结构研究[J].城市规划,2011,35(7):43-48.

- [65] 马静,柴彦威,张文佳.北京市居民购物出行影响因素的空间分异[J].经济地理,2009,29(12):2006-2011.
- [66] 马静,柴彦威.休息日与工作日居民购物时空间决策因素及差异比较[J].地理科学,2011(1):29-35.
- [67] 张文忠,李业锦.北京城市居民消费区位偏好与决策行为分析——以西城区和海淀中心地区为例[J].地理学报,2006,61(10):1037-1045.
- [68] 舒桐.西安城市居民日常购物行为特征及决策机制研究[D].西安:西北大学,2013.
- [69] 焦华富,韩会然.中等城市居民购物行为时空决策过程及影响因素——以安徽省芜湖市为例[J].地理学报,2013,68(6):750-761.
- [70] 张小英.购物中心消费者行为的性别差异研究——以广州市为例[J].商业时代,2014(16):16-18.
- [71] 柴彦威.城市空间与消费者行为[M].南京:东南大学出版社,2010.
- [72] RG Golledge, RJ Stimson. Spatial Behavior: A Geographic Perspective. 《Economic Geography》,1997,74(1):83-85.
- [73] 龙韬.北京市零售业态多元化、制度响应与居民选择行为研究[M].北京:北京大学,2007.
- [74] 沈洁.北京市居民购物行为空间及其变化研究[D].北京:北京大学,2007.
- [75] 刘爱文,赵雪雁,张文婷.兰州市居民购物行为的决策因素[J].地理科学进展,2011,30(2):171-178.
- [76] 马燕.乌鲁木齐市居民购物活动的时空分布与空间决策因素分析[D].乌鲁木齐:新疆师范大学,2006.
- [77] 焦华富,韩会然.中等城市居民购物行为时空决策过程及影响因素——以安徽省芜湖市为例[J].地理学报,2013,68(6):750-761.
- [78] 周素红,林耿,闫小培.广州市消费者行为与商业业态空间及居住空间分析[J].地理学报,2008,63(4):395-404.
- [79] 柴彦威,林涛,龚华.深圳居民购物行为空间决策因素分析[J].人文地理,2004,19(6):85-88.
- [80] 中国城市消费研究协会.中国城市商圈生态研究分析[M].
- [81] 美国城市土地研究学会.零售娱乐中心规划与设计[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,2007.
- [82] 龙韬,柴彦威.北京市民郊区大型购物中心的利用特征——以北京金源时代购物中心为例[J].人文地理,2006,21(5):117-123.
- [83] 朱玮,王德,齐藤参郎.南京东路消费者的入口消费行为研究[J].城市规划,2005,29(5):14-21.
- [84] 聂冲,贾生华.城市购物中心不同商铺种类的租户组合优化实证研究[J].浙江大学学

报(理学版),2011,38(1):101-108.

- [85] 王灿,王德,朱玮.基于消费者行为的商业综合体空间特征与评价——以上海五角场万达广场为例[D].中国城市规划年会,2015.
- [86] 王德平.消费者对大型购物中心环境与业种组合的认知及相关研究——以“天河城广场”和“万象城”为例[D].广州:暨南大学,2007.
- [87] 韩晶.城市消费空间[M].南京:东南大学出版社,2014.
- [88] 徐磊青.城市开敞空间中使用者活动与期望研究——以上海城市中心区的广场与步行街为例[J].城市规划学刊,2004(4):78-83.
- [89] 李伟平.宁波市购物中心消费者行为空间模式研究[D].宁波:宁波大学,2011。
- [90] 王德.商业步行街空间结构与消费者行为研究[M].上海:同济大学出版社,2012.
- [91] 柴彦威.中国城市的时空间结构[M].北京:北京大学出版社,2002.
- [92] 周一星.城市地理学(第2版)(BZ)[M].北京:高等教育出版社,2009.
- [93] 王士君.城市相互作用与整合发展的理论和实证研究[D].长春:东北师范大学,2003.
- [94] 唐小波.西方空间相互作用模型评析[J].北京教育学院学报,1994(2):26-34.
- [95] 李山,王铮,钟章奇.旅游空间相互作用的引力模型及其应用[J].地理学报,2012,67(4).
- [96] Isard W. Methods of Regional Analysis: An Introduction to Regional Science. Mass, America: MIT Press, 1960: 507.
- [97] Olsson G. Central place systems, spatial interaction and stochastic processes. Papers of the Regional Science Association, 1967, 18(1): 13-45.
- [98] Wilson A G. Entropy in Urban and Regional Modeling. London, England: Pion Ltd., 1970: 47-49.
- [99] Reilly W J. Methods for the study of retail relationships. University of Texas Bulletin, No.2944 (Bureau of Business Research, Research Monograph No.4), November 22, 1929.
- [100] Train K E. Discrete Choice Method with simulation[M]. Cambridge ,UK:Cambridge University Press,2003) (Mcfadden D.Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior[M].Frontiers in Econometrics,Zarembka P,New York:Academic Press, 1974, 105-142.
- [101] Recker W W Kostyniuk L P.Factors influencing destination choice for the urban grocery shopping trip[J] Transportation .19787(1)19-33) .
- [102] Timmermans H,Borgers A.Choice set constrains and spatial decision-making processes [J]. Sistemi Urbani.1985,3:2110-220.
- [103] 朱玮,王德,齐藤参郎.南京东路消费者的入口消费行为研究[J].城市规划,2005,29(5):14-21.
- 朱玮,王德.南京东路消费者的空间选择行为与回游轨迹[J].城市规划,2008(3):33-40.

- [104] 农耘之.北京王府井大街消费者行为与商业空间布局研究[D].上海:同济大学,2007.
- [105] 王德,李光德,朱玮等.苏州观前商业街区消费者行为模型构建与应用[J].城市规划,2013,37(9):28-33.
- [106] 刘胤汉,刘彦随.西安零售商业网点结构与布局探讨[J].经济地理,1995(2):64-69.
- [107] 曹嵘,白光润.交通影响下的城市零售商业微区位探析[J].经济地理,2003,23(2):247-250.
- [108] Z Wang,J Yi,J Liu,X Zhang. Study on the Control Strategy of Parking Guidance System. International Conference on Service Systems & S.,2007:1-4.
- [109] 陈群,晏克非,王仁涛等.基于相空间重构及 Elman 网络的停车泊位数据预测[J].同济大学学报(自然科学版),2007,35(5):607-611.
- [110] 孙涌,崔志明.停车诱导系统中车位预测模型的研究[J].计算机应用与软件,2007,24(11):124-126.
- [111] 张军,王书华,杨正瓴.基于粒子群优化的小波神经网络的停车位数量短时预测[J].计算机应用与软件,2015,32(11):66-68.
- [112] 季彦婕,陈晓实,王伟等.基于小波变换和粒子群小波神经网络组合模型的有效停车泊位短时预测[J].吉林大学学报:工学版,2016,46(2):399-405.
- [113] 郭倩,杨晓芳.基于指数平滑法的近停车场停车需求预测研究[J].黑龙江科技信息,2013(21):108-109.
- [114] 季彦婕,邓卫,赵德等.停车诱导信息系统规划理论与协同诱导策略设计[M].北京:科学出版社,2014.
- [115] 郑斌祥,席裕庚,杜秀华.基于离群指数的时序数据离群挖掘[J].自动化学报,2004,30(1):70-77.
- [116] 崔贯勋.基于密度的离群数据挖掘算法研究[D].重庆:重庆大学,2007.
- [117] 杨茂林.离群检测算法研究[D].武汉:华中科技大学,2012.
- [118] 薛安荣.空间离群点挖掘技术的研究[D].镇江:江苏大学,2008.
- [119] Werboss P J Beyond regression:new tools and analysis in the behavioral sciences Phd thesis, Havard University, Cambridge,MA,1974.
- [120] Zhang Q,Benveniste A Wavelet network IEEE Transsactions on Neural Networks,1992,3(6):889-898
- [121] 杨超,王志伟.经 GA 优化的 WNN 在交通流预测中的应用
- [122] Allais M. Le comportement de l'homme rationnel devant le risque:critique des postulats et axiomes de l'ECOLE Americane[J]. Econometrica 1953,21(4):503-546
- [123] Kahneman D, Tversky A. Prospect theory: An Analysis of Decision under Risk [J].Econometrica: Journal of the Econometric Society, 1979: 263-291.)
- [124] Kahneman D,Tversky A. Prospect theory:An Analysis of Decision under Risk [J].

- Econometrica:Journal of the Econometric Society,1979:263-291.
- [125] Tversky A, Kahneman D .Advances in Prospect Theory:Cumulative Representation of Uncertainty[J].Journal of Risk and uncertainty, 1992,5(4):297-323.
- [126] Avineri E Prashker J N. Violations of Expected Utility Theory in Route-Choice Stated Preferences:Certainty Effect and Inflation of Small Probabilities [J].Transportation Research Record:Journal of the Transportation Research Board ,2004,1894(1):222-229.
- [127] Gao S, Frejinger E, Ben-Akiva M. Adaptive Route Choices in Risky Traffic Networks:A Prospect Theory Approach [J].Transportation research part C: emerging technologies ,2010,18(5):727-740.
- [128] Xu H ,Zhou J ,Xu W.A Decision-Making Rule for Modeling Travelers' Route Choice Behavior Based on Cumulative Prospect Theory [J]. Transportation Research Part C :Emerging Technologies,2011,19(2):218-228.
- [129] Jou R C ,Kitamura R, Weng M C, et al. Dynamic Commuter Departure Time Choice under Uncertainty [J].Transportation Research Part A-Policy and Practice. 2008,42(5):774-783.
- [130] Fujii S ,Kitamura R.Drivers' Mental Representation of Travel Time and Departure Time Choice in Uncertain Traffic Network Conditions [J].Network and Spatial Economics,2004,4(3):243-256.
- [131] Schwanen T ,Ettema D. Coping with Unreliable Transportation When Collecting Children:Examining Parents' Behavior with Cumulative Prospect Theory[J].Transportation Research Part a-Policy and Practice.2009,43(5):511-525.
- [132] Ramos G M, Daamen W and Hoogendoorn S. Comparison of Expected Utility Theory,Prospect Theory, and Regret Theory for Prediction of Route Choice Behavior [J].Transportation Research Record ,2011,2230; 19-28.
- [133] 赵凇,张星臣.基于“前景理论”的先验信息下出行者路径选择模型[J].交通运输系统工程与信息,2006,6(2):42-46.
- [134] 徐红利,周晶,陈星光.基于前景理论的路径选择行为规则分析与实证[J].交通运输系统工程与信息,2007,7(6):95-101.
- [135] 杨志勇,颜桂云.基于前景理论的实时信息下路径选择模型研究[J].石家庄铁道学院学报,2009,21(4)47-51.
- [136] 赵凇.基于“前景理论”的出行决策模型及 ATIS 仿真实验研究[D].北京交通大学博士学位论文,2007.
- [137] 吴笛. 基于 Agent 的轨道交通枢纽内设施行人行为的仿真研究[D].北京交通大学硕士学位论文,2014.
- [138] 蔡朝晖 . 基于 Multi-agent 的道路交通流控制模型 [J]. 公路交通科

- 技,2002,19(2):105-109.
- [139] 余沛, 杜文, 蒋海峰. 基于 Multi-Agent 的城市道路平交口混合交通流动态模拟与实现[J]. 公路交通科技, 2010, 27(10): 128-132.
- [140] 李静. 面向 Multi-Agent 的实时信息下驾驶员行为仿真研究[D]. 哈尔滨工业大学博士论文, 2009.
- [141] 崔娜. 基于多智能体协商的驾驶员路径选择行为仿真研究[D]. 哈尔滨工业大学硕士论文, 2007.
- [142] 文颖. 基于复杂系统理论的停车设施规划研究[D]. 华中科技大学硕士论文, 2008.
- [143] 崔建勋. 基于多智能体仿真的实时信息下驾驶员路线选择行为研究[D]. 哈尔滨工业大学硕士论文, 2006.
- [144] 王子甲. 基于行人仿真的轨道交通车站设施规模及布局研究[D]. 北京交通大学博士论文, 2013.
- [145] 陈鹏. 基于多智能主体的人群流动形态动态模拟研究[D]. 同济大学博士论文, 2006.

附 件

购物中心停车场停车行为信息调查表

长安大学公路学院

您的性别 ①男 ②女

您的年龄

①18-30 岁 ②31-40 岁 ③41-50 岁

④51-60 岁 ⑤60 岁以上

您的家庭年收入

①小于 5 万 ②5-10 万 ③10-15 万 ④15-20 万 ⑤20 万以上

您的学历

①高中及高中以下 ②大专 ③本科 ④研究生以上

您的出发地至本停车场距离

① 1 公里以内 ② 1-2 公里 ③ 2-3 公里 ④ 3-4 公里 ⑤ 4-5 公里

⑥ 5 公里以上

本停车场是否是您的首选停车场：① 是 ② 不是

您购物时能够忍受等待停车位的最长时间

①<5 分钟 ②5-10 分钟 ③10-15 分钟 ④15-20 分钟 ⑤20-30 分钟 ⑥30

分钟以上

您选择本停车场的理由（多选）

①距离首选目的地最近 ②便宜，有停车优惠

③停车容易，取车容易 ④入库等待时间短

⑤其他

您是否准确知道本停车场的停车优惠措施？ ①是 ②不是

您是否准确知道本停车场的停车收费标准？ ①知道 ②不知道

您在小寨地区的主要的选购物场所是（请排序）：

- ①赛格 ②军人服务社 ③金沙国际 ④宜品生活 ⑤百盛
⑥开米广场 ⑦ 银泰 ⑧其他 _____

您每次购物光顾的购物场所数量：

- ① 1 个 ②2 个 ③3 个及以上

您每次购物持续时间： ① 1-2 小时 ②2-3 小时 ③3 小时以上

您一般到达购物中心的时间： ① 10-12 点 ②12-14 点 ③14-16 点
④16-18 点 ⑤18 点以后

您首选购物场所的考虑的因素：

- ① 购物中心面积大，商家多
② 购物中心有足够多休闲和娱乐内容
③ 停车位数量多，停车等待时间短
④ 购物中心距离小寨十字比较近，达到方便
⑤ 购物场所环境好
⑥ 购物场所商品比较时尚
⑦ 老字号，名气大
⑧ 长期习惯
-

购物地点名称：

时间：

地点：