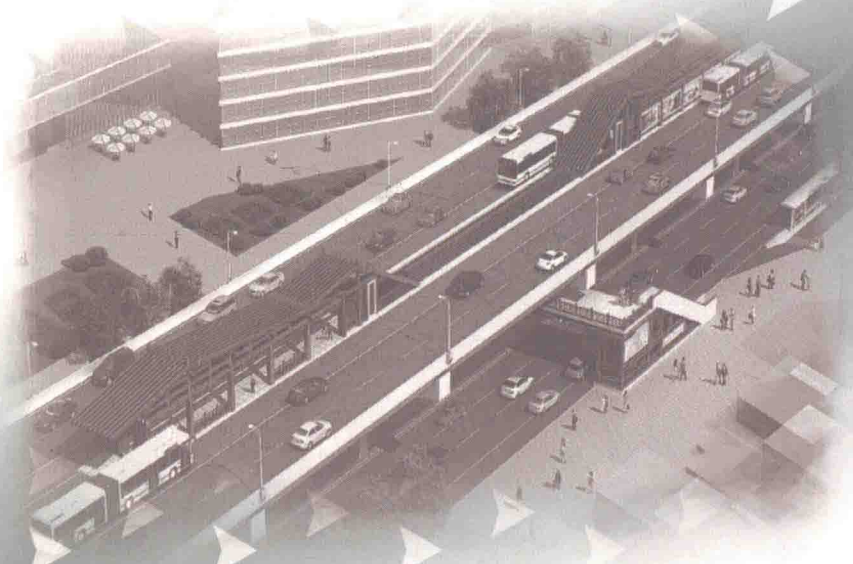


城市出租车合乘 关键技术与应用

肖 强 何瑞春◎著



科学出版社

城市出租车合乘关键技术与应用

肖 强 何瑞春 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书分析了城市出租车合乘的现状及存在的问题、城市出租车与乘客的出行特征,以及出租车合乘的影响因素,构建了城市出租车合乘概率和合乘等待时间模型,推演出城市出租车合乘“三阶段”算法,即出租车聚类算法、出租车匹配算法和合乘出租车路径规划算法;构建了合乘收益趋势预测和城市不同区域合乘可行性评价模型,据此建立出租车合乘仿真实验系统,为后期城市出租车合乘关键技术的进一步完善与实际推广应用提供了理论和技术基础。

本书适合交通运输工程等学科的研究人员、工程师和交通运输组织管理人员阅读,也可作为交通工程、交通运输、信息系统与信息管理等专业高年级本科生和交通运输规划与管理等专业研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

城市出租车合乘关键技术与应用/肖强,何瑞春著. —北京:科学出版社, 2018.7

ISBN 978-7-03-057839-6

I. ①城… II. ①肖… ②何… III. ①出租汽车-城市交通系统-系统仿真-研究 IV. ①U491.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 130341 号

责任编辑:朱英彪 赵晓廷 / 责任校对:张小霞

责任印制:张 伟 / 封面设计:蓝正设计

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 7 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2018 年 7 月第一次印刷 印张:12 1/2

字数:252 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着我国城市化建设进程的加快以及出行车辆的剧增,城市道路交通拥堵问题已经成为城市发展中亟须解决的重大难题。大力发展城市公共交通、倡导市民绿色出行,是各大城市治理交通拥堵和缓解交通压力的常见举措。出租车作为城市公共交通的重要构成,具有便捷、灵活的特点。然而,受制于供需双方的信息不对称,常存在出行者打车难、出租车空载率高、出租运营成本大等问题,严重制约了出租车市场的健康发展。鉴于此,有学者提出“出租车合乘”的理念以期解决上述难题,并迅速引起学术上的共鸣。经验数据表明,出租车合乘在缓解城市交通拥堵、解决出租车运营困境方面具有一定的作用。

本书回顾和梳理了国内外出租车合乘的研究现状及发展动态,分析和归纳城市出租车合乘研究存在的问题及不足。从城市出租车和乘客两个角度分析了各自的出行特征,构建城市出租车合乘概率和合乘等待时间模型,推演出城市出租车合乘“三阶段”算法,利用南京市出租车数据对上述理论和模型进行了实例验证,并以此为基础建立城市出租车合乘仿真实验系统。全书主要内容如下。

(1) 分析城市出租车及乘客出行特征。从出租车行驶里程、出租车空载率和出租车载客特征三个维度分析出租车的出行特征;采用乘客出行距离、出行时间、出行点均衡度、出行点密度和出行点分布度等一系列指标分析出租车乘客的出行变化特征,并综合提出城市出租车合乘的影响因素。

(2) 提出城市出租车合乘概率和等待时间模型。运用泊松分布原理分析出租车合乘中出租车载客车辆的概率特征,并基于泊松分布模型和 N 重伯努利试验原理构建出租车合乘概率模型和合乘等待时间模型,深入探讨出租车数量、空载率、平均行驶速率、行驶目的地分布率等对合乘概率和合乘等待时间的影响。

(3) 构建城市出租车合乘车辆聚类算法。利用数据场能函数求解载客出租车数据集中各数据点的场能,通过比较各数据点势能值的大小,计算出各数据点的点间距,进而根据各数据点场能值与点间距的乘积所确定的阈值来判别聚类中心点、离群点和各聚类中心所包括的子数据点。

(4) 建立合乘乘客与载客出租车匹配方案。根据物元理论,构建模糊物元矩阵,采用熵权法计算合乘距离、到达合乘出行点距离、到达合乘目的地距离以及到达合乘出发点时间四个指标的权重,并运用贴进度计算出合乘出租车匹配方案的优先顺序。

(5) 提出出租车合乘路径规划模型。建立道路路段网络节点拓扑结构,运用

道路路段长度、车辆平均行驶速度和路口红绿灯等待时间等指标构建路段路权值,采用有向图的节点间直接权重矩阵算法,得到节点间权重矩阵表。通过对节点间权重矩阵表的调用与判断,实现合乘乘客与出租车合乘后的路径规划及合乘费用预估,从而为合乘者推荐合乘参考方案。

(6) 分析出租车合乘条件对合乘收益趋势的影响。引入合乘下车点的距离、合乘上车点的距离和时间等参数,建立出租车合乘模型,并利用灰色预测模型,讨论在合乘点距离和间隔时间不同的条件下出租车的合乘收益趋势。

(7) 提出城市出租车合乘可行性的评价方法。利用 K-means 聚类算法构建物元特征量值指标区间聚类法,以及城市不同区域出租车合乘评价指标体系,采用熵权法确定指标的权重,从而对不确定指标信息和确定指标信息进行描述,实现对城市不同区域合乘的评价。

本书第 1 章和第 2 章由何瑞春撰写,第 3~11 章由肖强撰写。在本书撰写过程中,参考了大量国内外文献,谨向所有文献作者表示衷心感谢! 本书出版得到了国家自然科学基金项目“城市出租车合乘系统智能优化及关键技术研究”(61364026)的资助,在此表示感谢! 在课题研究和本书撰写过程中,兰州交通大学俞建宁教授和李引珍教授给予了悉心指导和大力支持,在此表示诚挚的谢意! 兰州交通大学段刚老师、马昌喜老师、张薇老师、王莉老师在本书的撰写过程中也给予充分的支持和帮助,对他们表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请读者批评指正!

肖 强

2018 年 2 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 城市出租车合乘概要	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究目的和意义	3
1.2 城市出租车合乘技术研究	4
1.2.1 国外研究概况	4
1.2.2 国内研究综述	6
1.2.3 国内外研究现状总结与分析	7
1.3 本书内容安排	8
1.3.1 主要内容	8
1.3.2 技术路线	10
1.4 本章小结	11
参考文献	12
第 2 章 城市出租车合乘相关综述	14
2.1 合乘的起源与发展	14
2.2 合乘的概念及类型	15
2.2.1 合乘的概念	15
2.2.2 合乘的类型	15
2.3 合乘的组织模式	16
2.4 城市出租车合乘的现状及存在的问题	20
2.4.1 城市出租车合乘的现状	20
2.4.2 城市出租车合乘存在的问题	22
2.5 城市出租车合乘系统设计	23
2.6 本章小结	25
参考文献	25
第 3 章 城市出租车及乘客出行特征分析	27
3.1 城市出租车 GPS 数据处理	27
3.1.1 城市出租车 GPS 轨迹数据的产生和构成	27
3.1.2 出租车 GPS 轨迹数据参数预处理	28
3.1.3 城市出租车载客点数据处理	29

3.2 城市出租车及乘客出行特征	29
3.2.1 城市出租车出行特征	29
3.2.2 城市出租车乘客出行特征	36
3.3 城市出租车合乘影响因素分析	58
3.3.1 城市道路网影响分析	58
3.3.2 城市出租车影响分析	59
3.3.3 出租车乘客影响分析	59
3.4 本章小结	60
参考文献	60
第4章 城市出租车合乘概率分析	63
4.1 合乘概率模型假设	63
4.2 基于泊松分布的合乘概率建模	64
4.2.1 城市出租车泊松分布分析	64
4.2.2 城市出租车的合乘概率模型	65
4.2.3 城市出租车合乘等待时间	67
4.2.4 模型关系分析	68
4.3 实验分析	70
4.3.1 实验数据	70
4.3.2 实验步骤	70
4.3.3 实验结果分析	71
4.4 本章小结	75
参考文献	76
第5章 城市出租车合乘车辆聚类模型及算法	78
5.1 出租车合乘车辆聚类问题数学模型的构建	78
5.1.1 出租车合乘车辆聚类问题描述	78
5.1.2 出租车合乘车辆聚类问题建模	79
5.2 出租车合乘车辆聚类问题数学模型的算法	84
5.2.1 出租车合乘车辆聚类问题算法思路	84
5.2.2 基于数据场和点间距的出租车合乘车辆聚类算法	84
5.3 实验分析	86
5.3.1 实验数据	86
5.3.2 阈值参数确定	86
5.3.3 实验结果分析	88
5.4 本章小结	98
参考文献	99

第 6 章 城市出租车合乘方案选择优化模型及算法	101
6.1 出租车合乘方案选择优化模型	101
6.1.1 城市交通道路网络化	101
6.1.2 出租车出行的数学化描述	102
6.2 模型的算法求解	105
6.2.1 可行路径的搜索	105
6.2.2 可行路径的综合目标值计算	106
6.3 算例分析	107
6.4 本章小结	110
参考文献	110
第 7 章 城市合乘乘客出租车匹配评价模型及算法	112
7.1 城市合乘乘客出租车匹配问题数学模型的构建	112
7.1.1 城市合乘乘客出租车匹配问题描述	112
7.1.2 城市合乘乘客出租车匹配问题建模	115
7.2 城市合乘乘客出租车匹配方案评价数学模型及算法	117
7.2.1 城市合乘乘客出租车匹配问题算法思路	117
7.2.2 基于熵权模糊物元评价的城市合乘乘客出租车匹配算法	118
7.3 实验分析	122
7.3.1 实验数据	122
7.3.2 实验参数	124
7.3.3 实验结果分析	127
7.4 本章小结	128
参考文献	128
第 8 章 城市出租车合乘路径规划模型及算法	130
8.1 出租车合乘路径规划数学模型的构建	130
8.1.1 出租车合乘路径规划问题描述	130
8.1.2 出租车合乘路径规划问题建模	130
8.1.3 出租车合乘路径规划模型	135
8.2 出租车合乘路径规划问题数学模型的算法	137
8.2.1 出租车合乘路径规划问题算法思路	137
8.2.2 基于节点区域限制和改进 A* 算法的城市出租车合乘路径 规划模型	137
8.3 实验分析	143
8.3.1 实验数据	143
8.3.2 实验参数	146

8.3.3 实验结果分析	148
8.4 本章小结	152
参考文献	153
第9章 城市出租车合乘收益趋势影响模型研究	154
9.1 GPS 轨迹数据的计算	154
9.2 出租车合乘模型及收益预测模型	155
9.2.1 出租车合乘模型	155
9.2.2 出租车合乘收益模型	156
9.2.3 出租车合乘收益预测	156
9.3 算例分析	158
9.4 本章小结	164
参考文献	165
第10章 城市不同区域出租车合乘可行性评价研究	167
10.1 基于物元分析的评价模型	167
10.1.1 城市出租车合乘可行性评价指标	168
10.1.2 城市出租车合乘物元	168
10.2 求解算法	170
10.2.1 评价类别特征值量值范围	170
10.2.2 指标权重、关联度及评价等级	171
10.2.3 评价级别偏向特征值计算	172
10.3 实例计算与结果分析	172
10.4 本章小结	180
参考文献	180
第11章 城市出租车合乘仿真实验系统设计	182
11.1 系统设计的目标和原则	182
11.1.1 系统设计的目标	182
11.1.2 系统设计的原则	182
11.1.3 系统设计平台的运行环境	183
11.2 系统总体设计	184
11.2.1 逻辑总体结构设计	184
11.2.2 物理总体结构	185
11.3 系统的功能结构设计	186
11.4 仿真实验系统实验结果	188
11.5 本章小结	191
参考文献	192

第 1 章 绪 论

1.1 城市出租车合乘概要

1.1.1 研究背景

随着我国经济的飞速发展和城镇化进程的不断推进,“都市圈”“城市群”“城市带”逐步在我国各个区域不断形成^[1],城市的范围已从城市中心逐步向郊区发展扩大。城市化的快速发展,带动城市经济的增长,提高了人民的生活水平,但城市中的住房、交通、环境污染等问题都在日益加重,给人们的生活带来了诸多不便,尤其是城市交通拥堵问题成为城市发展的瓶颈^[2];同时,城市拥堵带来的负面影响,如环境污染和能源消耗等,不仅增加居民消费额外的支出,而且影响城市的可持续发展。

面对城市交通拥堵问题,许多学者和城市管理者大力提倡发展城市公共交通以缓解城市的交通拥堵,但由于公交、地铁等城市公共交通在城市中的覆盖率相对较低,在高峰时段等候时间较长,乘坐的空间固定,且要根据公共交通的服务时间进行出行。因此,城市管理者将出租车作为公共交通的重要补充^[3],大力发展出租车行业,以弥补城市公共交通带来的出行不便。

从表 1.1 所示的出租车供给情况可以看出,2009~2016 年,全国城市出租车规模保持逐年增长趋势,年复合增长率为 2.35%。2016 年末,全国拥有出租车 140.40 万辆,同比增长 0.83%。

表 1.1 2009~2016 年出租车规模趋势图

年份	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
数量/万辆	119.31	122.57	126.38	129.97	134.60	137.01	139.25	140.40
同比增长/%	—	2.73	3.11	2.84	3.56	1.79	1.63	0.83

资料来源:前瞻产业研究院

从表 1.2 所示的出租车需求情况可以看出,2014 年,出租车运送乘客达到历年来的最大值,为 406.06 亿人次,2015 年开始出租车运送乘客人数有所下滑。2016 年,我国出租车运送乘客 377.35 亿人次,同比下滑 4.88%。

表 1.2 2009~2016 年出租车客运量规模趋势图

年份	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
运量/亿人次	363.54	346.28	376.71	390.03	401.94	406.06	396.70	377.35
同比增长/%	—	-4.75	8.79	3.54	3.05	1.03	-2.31	-4.88

资料来源：前瞻产业研究院

作为城市公共交通的有益补充，城市出租车数量逐年增加，进而提升了城市公共交通服务水平。城市出租车相较其他公共交通工具具有以下优势。

(1) 便利性。相对其他公共交通工具，出租车能为城市居民提供及时、快捷和灵活的出行需求，减少居民在出行过程中的时间。

(2) 补充性。公共交通工具运行的时间段是有限的，在非公共交通工具的运行时间，城市出租车可以作为公共交通工具的补充，满足城市居民在非公共服务时间的出行需求。

(3) 经济性。对个人用户和单位而言，城市出租车是一种更经济的交通出行方式，它替代了私家车、公务车和商务车，节约了车辆行驶费用和养护费用，为个人或单位带来了更高的经济效益。

(4) 窗口性。城市出租车是城市服务外来旅游、办公、聚会等各种活动的主要工具，作为城市的名片，不但能及时、准确地帮助外来人口找寻相关目的地，而且为外来人口更好、更准确地评价城市提供基础。

随着互联网技术的广泛应用，“互联网+”交通成为国内出租车市场一种新的交通出行方式。据滴滴出行的数据显示，全国 2015 年出租车订单量达 14.3 亿，相当于每一名中国人用滴滴软件预订过一次车，累计行驶时间达 4.9 亿 h，累计行驶里程达 128 亿 km。这些数据说明城市居民的传统出行方式正在逐步改变，借助“互联网+”技术出行，这为后期合乘和合乘方式的提出提供了认知和技术支持平台。

如今，出租车借助“互联网+”不仅提升了运行效率，也改善了人们的出行条件。但是，出租车仍然存在以下问题。

(1) 运营成本偏高。城市居民一天 24h 出行高峰时段基本固定，在非高峰时段，城市出租车的空载率相对较高，这就增加了出租车的运营成本。

(2) 交通拥堵加剧。城市出租车虽然是公共交通工具的有益补充，但作为运输工具其载客量非常低(<4 人)，大多数为一名乘客，运送能力小于公交车，人均占用道路面积却是其他公共交通工具的 20 倍以上，这将增加城市道路的交通运输压力，易造成城市道路的拥堵。

(3) 资源浪费严重。大量空载运行的出租车，是对能源的一种浪费，而只搭乘一名乘客的服务方式，也是对乘客资源的一种浪费，在出租车资源有限的情况下，

加剧了城市打车难问题。

(4) 环境污染加剧。大量出租车在城市中运行,会产生大量的污染物,加剧城市空气的污染,使城市的 $PM_{2.5}$ 指标升高,不仅有损城市绿色环保形象,也降低城市 GDP 的增速。

针对城市出租车产生的一系列问题,国内外许多学者提出利用拼车或合乘的方式缓解城市出租车所带来的不利因素,即把具有相同目的地的乘客通过多次共乘的方式送达目的地。为了治理城市道路交通带来的拥堵,各地(如北京、上海、深圳、广州等)也纷纷出台合乘政策以缓解交通拥堵。

1.1.2 研究目的和意义

随着我国城镇化程度的进一步提高,城市道路设施建设滞后与城市交通出行快速增长的不匹配,城市交通系统面临巨大压力,交通拥堵成为各个城市面临的最大问题。2017年1月12日,根据公安部交通管理局统计,截至2016年底,我国机动车保有量达2.9亿辆,其中汽车为1.94亿辆,有49个城市的汽车数量超过100万辆,其中北京、重庆、天津、成都、深圳、广州、上海等18个城市的汽车数量已超过200万辆,尤其是北京的汽车数量在2012年就已超过500万辆。车辆的急速增长造成了城市的交通拥堵、交通事故频发、交通环境污染严重、出行困难等一系列问题。由智联招聘联合北京大学中国社会科学调查中心推出的《2012年度中国职场人平衡指数调研报告》显示,中国职场人平均上下班往返时间为0.96h,其中北京为1.32h,在所调查的城市中居首位,上海次之,为1.17h。

缓解城市拥堵成为城市交通管理部门急需解决的问题。合乘作为缓解交通拥堵的一种方式,逐渐被国内外大多数城市所采用。麻省理工学院研究人员分析了2013年3月纽约曼哈顿出租车一周的运行数据,在纽约的1.36万辆出租车中,大约有1万辆在高峰时段使用,曼哈顿只需要3000辆共享出租车便可以满足其98%的乘坐需求^[4]。此研究表明,有效的出租车合乘制度,不但可以缓解城市的交通拥堵程度,还可以提高出租车的载客率,增加出租车司机的运营收入,降低城市居民出行成本,另外也可以降低能源消耗,减少环境污染。因此,合乘方式的实施是一种改善城市交通质量的有效途径。

我国部分城市已开展了城市出租车的合乘运营。2012年北京市鼓励市民合乘出租车,合乘者各付车费的60%;2011年重庆市提出合乘者按行驶里程各支付80%的费用;南京市的出租车中装有合乘计价器,明确合乘路段按每人70%支付费用^[5]。随着信息技术的发展,出行者可借助互联网和打车软件实现合乘,但合乘时需要考虑哪些因素,合乘的概率有多大,实时合乘中出租车和乘客的匹配,合乘出租车的行车路径规划等问题,仍需进一步深入探讨,本书围绕城市出租车合乘的关键技术问题展开,具体目的和意义如下。

(1) 分析城市出租车出行特征,有助于城市交通管理者有效地制定合乘政策。合乘方式能否在城市实施,需要对城市出租车日常状态进行分析,通过理论研究,提出科学的判定结果,为城市出租车开展合乘的可行性和必要性提供参考依据。

(2) 城市交通中心区域路段合乘概率分析,有助于出行居民更好地进行合乘选择。利用概率学理论探讨城市道路的出租车合乘概率,能够帮助城市出行者更好地选择合乘的地点和时间,更好地设计出行安排。

(3) 构建城市出租车合乘匹配技术体系,有助于完善出租车合乘理论,提升合乘软件的应用效果。在合乘技术中,增加合乘中出租车聚类、合乘者与出租车匹配以及合乘路径规划与优化等的合乘技术环节,有效提高实时合乘匹配的效率,提升出租车的载客能力,为城市交通道路车辆的拥堵治理,提供坚实的理论依据。

城市出租车合乘是缓解城市交通拥堵、提高出租车运营效率的一种途径,本书相关的研究成果有助于合乘政策在城市中进一步开展,促进合乘研究进一步深入。另外,本书的内容和结论可以应用于城市出租车合乘的政策制定和合乘方法的优化设计中,具有重要的理论和实践意义。

1.2 城市出租车合乘技术研究

随着城市化进程的进一步深入,出租车作为公共交通的辅助工具日益变得重要。然而,出租车市场管理的滞后,使各城市都出现打车难的问题,同时出租车运营也依然无法摆脱运营成本高、载客率低、道路交通通行负担加重和易拥堵等困境。因此,合乘作为一种有效缓解打车难和交通拥堵的措施被推出,并被国内外许多学者所关注。

1.2.1 国外研究概况

合乘系统是指对出行者信息和当前运营车辆信息进行实时匹配,为具有相同出行需求的出行者提供搭乘服务,以提高运营车辆的运营效率,缓解交通道路的拥堵,降低出行者出行成本,提高社会效益和生态效益。国外学者对城市交通中的合乘问题研究较早,其研究过程如下。

20世纪60~70年代,随着汽车工业的快速发展,欧美一些大城市出现了交通拥堵问题,同时由于70年代末石油危机的出现,部分欧美学者开始研究合乘问题,以解决由城市发展和能源危机造成的城市道路拥堵和车辆出行成本增加等问题。1967年,Benjamin等^[6]提出合乘的概念,但其所提出的合乘是指在运输货物方面,采用数学模型,在考虑货物的大小、类型和特性等因素基础上将不同类型的货物合理搭配,以实现不同货物的共同运输。1975年,Heman等^[7]对70年代美国密歇根州的合乘情况进行调查,统计显示,出行居民的合乘行为与距离有关,长距离出

行合乘人数多,短距离出行合乘人数少,并且指明长距离合乘的原因是石油危机的出现增加了出行成本。1976年,Hirst^[8]对1950~1972年美国城市的城际间交通工具的效率进行分析,并对1980~1985年的节能政策进行讨论,指出合乘是一种有效提高运输效率、节约燃料的途径,并预测了合乘在未来的发展趋势。

20世纪80年代,美国、加拿大等国家为提高道路使用效率、缓解交通拥堵、促进交通节能减排,采用共乘(high occupancy vehicle, HOV)车道交通管理措施,要求混合动力车和其他新能源车与普通车一样,须承载2人以上才可驶入HOV车道。为此,许多学者开始研究HOV合乘问题,并利用调查问卷分析合乘对出行者的影响。1983年,Mann^[9]通过对美国华盛顿地区HOV车道的分析,并利用计算机程序计算提出动态调节HOV中合乘车辆出行表的方式,实现合理车辆数量与不同区域HOV道路的匹配,以提高HOV道路的车辆容量和通行能力。1987年,Teal^[10]对1977~1978年的出行者数据进行分析,研究了合乘的特点、分类和动因,并对合乘者的合乘原因以及合乘方式进行了说明,预测合乘模式将大幅度提升的可行性。1997年,Ferguson^[11]利用美国1970~1990年美国人口调查局对出行者数据的分析,发现私家车数量、燃料价格和受教育程度对合乘的影响较大,而年龄、家庭收入、城市类型和种族等因素对合乘的影响较少,并以此为基础提出提高合乘效率的建议。1995年,Kearney等^[12]对于分布在5个不同地区的645个员工进行合乘调查。研究表明,通过合乘案例及合乘概念的讲解有助于人们更好地理解合乘并选择合乘出行,提升合乘效率,而大规模采取政策干预方式对提升合乘效果没有太大的帮助。1997年,Pisarski^[13]通过对美国80~90年代合乘拼车数据的分析,发现在过去的十年间合乘数下降32%,并对下降的原因进行分析,主要原因是美国人口和就业越来越分散,从而使合乘的效率逐步降低。Pisarski认为需要一个统计分析工具来真正认清合乘中存在的问题,才能更好地进行合乘方案的推广。

到21世纪,随着世界经济的快速发展,欧美等国家和地区的城市道路拥堵问题更加突出,国外部分学者开始应用各种传统算法和智能算法对合乘的问题进行研究,并开发合乘系统应用于实际。2003年,Ferrari等^[14]针对合乘匹配中的优化问题,提出了新的启发式数据处理模型,并利用储蓄函数寻找最优方案。实验表明,相对原来的优化算法,基于储蓄函数的启发式算法在合乘匹配中可以为合乘乘客节省50%的乘坐距离。2004年,Calvo等^[15]提出了在合乘系统中将信息技术和通信技术(如GIS(geographic information system)、Web SNS(Web social networking service)等)集成在一起,同时在系统的核心最优化模块中引入启发式算法以解决路况问题。2004年,Baldacci等^[16]提出了一种精确的基于拉格朗日序列的合乘算法,该算法基于两个整数规划公式,分别利用启发式算法和拉格朗日序列确定上下限,从而求解合乘问题。2005年,Cross^[17]提出一种合乘系统并在法国进行应用。

司机将出行路线录入合乘系统,其他具有相同出行路线的乘客在共同承担出行费用的情况下,通过电话、电子邮件或文本消息的方式通知司机,从而完成合乘。2009年,Soltys等^[18]针对成功合乘中的影响因素进行了研究,并利用加拿大多伦多市网络合乘系统数据进行分析,发现增加上班族对合乘相关软件知识的认知,将有效提升合乘的效果。2015年,Shinde等^[19]为有效地解决合乘算法中的问题,提出了基于遗传算法的合乘路线匹配多目标优化算法。该算法降低了计算的复杂性,减少了处理时间,有效地改善了合乘效果。2014年,Galland等^[20]利用代理模块自动分析交通基础设施之间、合乘行为与基础设施之间以及出行者与费用之间等的相互关系,并结合社会网络技术和路由匹配算法,通过模型建立谈判机制,从而实现基于代理的合乘模型。2012年,Manzini等^[21]利用决策支持系统解决合乘问题,提出利用分段聚类模型,将路线、距离、用户信息和合乘的汽车等合乘因素进行分别聚类,再采用决策支持系统(decision support system,DSS)进行各因素间的判断,从而为合乘提供决策支持。2014年,Potnis^[22]提出基于无线点对点网络技术的动态合乘模式,利用无线点对点网络分散模型算法,实现合乘用户设备与合乘车辆直接相连,改变原有合乘用户先将数据提交数据库,再由数据库系统结合其他算法来实现合乘的方式。这种方式取消了中间环节,实现起来速度快。2015年,Jiao等^[23]提出改进的遗传算法来实现合乘问题的求解,通过在进化模块实现合乘匹配方案演进过程,在短时间内确定合乘匹配方案。

1.2.2 国内研究综述

国内关于合乘的研究起步较晚,相关研究较少,大多数集中于合乘问题的算法实现和合乘费用政策的制定等,具体如下。

1988年,在期刊中首次出现“拼车”一词^[24],但这里的“拼车”是铁路部门为了更好地制作列车的运行计划表,通过对各个站点和各局之间每日每月的列车信息汇总计算,利用“拼车”的思想,实现列车运行效率的最大化。

2006年,覃运梅等^[25]在出租车合乘模式的探讨中,将司机与乘客双方利益引入合乘中,利用合乘费率建立多目标函数,并求解最佳合乘路径和最优费率,从而实现合乘。

2007年,翟泳提出了基于交通路网的路径匹配算法^[26]。该算法利用交通路网中各节点间的距离关系,检索给定起讫点间及起讫点各自邻近节点群之间存在的出行信息,并根据合乘出行路径特点对检索出的信息进行分析、评价和优选,以方便出行者进行合乘组织。

2008年,张瑾和何瑞春^[27]在出租车拼车问题的优化中,应用模拟退火算法求解出租车拼车中的“一对多”模型,以实现乘客最优匹配和线路的设计。

2009年,吴芳等^[28]以合乘出租车司机收益与合乘服务率最大化、乘客最少为

目标建立了出租车最佳路径选择及配车调度优化模型,并利用改进粒子群算法进行求解,实现出租车的合乘。

2011年,祁瑞军等^[29]为解决合乘线路的最优化问题,构造了道路交通网络距离矩阵,利用运筹学矩阵迭代法求解最短路径,为合乘乘客的最短路选择问题提供理论基础。

2013年,程杰等^[30]以出行者与司机的利益为优化目标,建立了多对多模式的动态出租车合乘模型,并利用遗传算法进行求解,实现合乘算法问题的解决。

2013年,邵增珍等^[31]提出两阶段聚类的启发式匹配策略,实现对多车辆合乘问题的求解。实际算例表明,该种算法可有效提高搭乘的成功率,降低车辆的运行成本。

2014年,肖强等^[32]提出基于模糊聚类 and 模糊识别的出租车合乘算法,利用出租车行车路线的模糊聚类,来完成合乘乘客与出租车的模糊识别,实现合乘乘客与出租车之间的匹配。

2015年,张薇等^[33]提出一种考虑乘客心理的合乘出行决策方法,分析了不同付费比例和交通拥堵在乘务心理因素影响下对乘客合乘决策的影响,对出租车合乘政策的制定和管理有一定的指导意义。

1.2.3 国内外研究现状总结与分析

针对合乘问题,国内外学者从合乘的影响因素分析、合乘的匹配建模算法和合乘的政策制定等方面做了大量的理论分析和实例验证,取得了一定的成果,并有了一定的实际应用,但通过对研究成果的分析发现还存在以下不足。

(1) 合乘的研究主要集中在算法的应用性方面,缺少对城市合乘问题实际应用的可行性研究。在目前合乘问题的研究中,焦点主要集中于利用各种算法实现合乘人员与出租车的匹配,但对合乘问题本身,即什么样的城市区域、什么样的出租车分布、什么样的合乘需求可以提供合乘服务,在城市中什么时间段合乘的效果好,什么时间段合乘的效果差,什么时间段不宜进行合乘,研究相对较少。对城市出租车合乘进行可能性分析,构建合乘的概率模型,不但能够作为目前合乘算法研究的基础,也可作为后续研究中一个重点深入的方向。

(2) 合乘的关键技术中人车匹配算法相对比较复杂,实用性需进一步提升。目前,大多采用启发式算法、神经网络算法、遗传算法和粒子群算法等进行合乘中人车匹配问题的研究,从理论的角度验证了合乘算法实现的可行性,但在实际合乘软件的开发以及导航中使用这些合乘匹配算法,具有搜索时间长、效率低、实现相对比较复杂等缺点。因此,目前开发的合乘软件多为提前预约型,要求半小时以上。如何实现出租车合乘的实时性、减少算法的复杂性、提高模型的实际应用性、提升合乘的应用效果,是当前出租车合乘技术研究亟须解决的问题。

(3) 城市出租车合乘技术的研究多侧重于合乘匹配,系统化分析合乘问题的相对较少。城市出租车合乘问题是一个系统化的问题,主要包括合乘出租车的聚类问题、合乘者匹配出租车方案的评价问题、合乘后的行驶道路规划问题等,但目前的研究将这三类问题合为一个问题进行研究,通过对合乘影响因素的分析,利用传统匹配算法和智能匹配算法,建立合乘模型,实现合乘乘客与出租车之间的匹配。对出租车合乘的关键技术问题没有从系统化的角度进行全面研究,忽略了合乘关键技术所涉及的合乘前期、中期以及后期的相关技术连贯性问题,如何从系统化的角度研究城市出租车合乘问题,将会是未来合乘技术研究的一个热点问题。

1.3 本书内容安排

1.3.1 主要内容

本书主要介绍城市出租车合乘匹配理论与关键技术问题,包括城市出租车运行特性、城市出租车合乘概率分析和城市出租车合乘方案设计。下面对以上三个方面进行具体分析。

1. 城市出租车运行特性分析

出租车的基本运行特征可用来判断城市出租车的运营情况,以及城市道路的运行负荷,为城市出租车合乘方案的实施提供决策依据。本书以出租车的行驶路程、出租车的空驶率和空载率、出租车出车率、乘客出行距离和时间为对象,利用均衡度、密集密度和起止点分布(origin-destination, OD)率来探讨城市出行者的时空分布特性。从城市道路路网、城市出租车和出租车乘客三个维度,探讨这些因素对合乘的影响。

2. 城市出租车合乘概率分析

在假定的条件下,根据泊松分布原理,讨论出租车合乘中出租车载客车辆的泊松分布,建立基于泊松分布的出租车合乘概率模型,并通过概率模型结合 N 重伯努利试验原理,构建出租车合乘等待时间模型,探讨出租车数量、空载率、平均行驶速度和行驶目的地分布对合乘概率和合乘等待时间的影响。

3. 城市出租车合乘方案设计

城市出租车合乘方案设计是城市出租车合乘的关键环节,是实现出租车合乘的基础,主要包括以下内容。

(1) 合乘出租车的聚类。针对城市出租车中合乘车辆的聚类问题,结合城市