

# 结 题 论 文

## 关于拼车服务在机场实际应用的 匹配与定价研究

学 院 名 称 ： 经济与管理学院

学 科 类 别 ： 工商管理类

学 生 姓 名 ： 杨昌浩、张逸冰

指 导 教 师 ： 晏鹏宇 副教授

二〇一八年三月

## 目录

摘要.....	II
1 绪论 .....	1
1.1 研究背景及意义 .....	1
1.2 国内外研究现状 .....	2
1.2.1 拼车匹配及定价 .....	2
1.2.2 车辆路径问题 .....	2
1.3 研究内容 .....	3
1.4 创新点 .....	4
2 理论基础 .....	5
2.1 路径规划定义及研究要素 .....	5
2.2 路径规划算法研究 .....	6
3 机场拼车服务匹配模型 .....	9
3.1 实时匹配流程框架 .....	9
3.2 匹配模型 .....	9
3.2.1 问题数学描述 .....	9
3.2.2 筛选条件 .....	10
3.2.3 模型建立 .....	10
3.3 利用 CPLEX 求解模型.....	11
4 机场到港旅客数据及定价分析 .....	13
4.1 数据收集 .....	13
4.2 定价分析 .....	14
5 总结展望 .....	16
参考文献.....	17

## 摘要

近年来，随着科技的进步，私家车的数量越来越多，极大地方便了人们的生活，但也带来了交通拥堵，能源消耗，废气排放等诸多问题。而随着近两年互联网的飞速发展，共享经济时代的到来，一种新型出行方式-互联网拼车服务顺势而生，其中机场就是拼车服务的一个重要的应用场景。

本文针对拼车服务在机场中的实际应用，主要研究了各个乘客的匹配和定价问题，以乘客等待时间及绕路时间最短为目标函数，以车辆路径问题（VRP）为基础建立匹配模型并求解。通过收集机场的实际数据资料，分析得出不同时间段的乘客到达规律，建立适当的定价模型，求得最优定价方案。最后通过模拟仿真，预测该匹配及定价方案的实际效果，从而在实际生活中进行推广应用。

**关键词：**共享经济、拼车、车辆路径问题、概率产品

# 1 绪论

## 1.1 研究背景及意义

随着科技的进步，人们的交通方式也有了巨大的改变，从步行、自行车，到如今的私家车、出租车、地铁、公交车等。不同的出行方式有着不同的利弊，对于私家车及出租车而言，它有着较高的灵活度，而代价则是出行成本较高，并增加了交通的拥挤程度；相对比而言，公共交通更为环保节约，但方便灵活度则不如前者。综合两者特性，一种新型出行方式-互联网拼车服务，如滴滴顺风车，嘀嗒拼车等顺势而生。区别于当前网约车（如滴滴快车等），该模式将具有相似出行路线的乘客匹配在一起，通过共乘一辆汽车的方式，来达到节约出行成本，缓解交通堵塞等目的。通过这种方式，能够让乘客以更低的价格享受到更加个性化的服务，更重要的是，对于整个社会而言，这种方式能够大大缓解交通拥堵、提高资源的使用效率、减少环境的污染。

作为一种高效价廉的出行方式，拼车目前在全国各地已经广泛地被人们所接纳，其应用范围也早已不局限于日常通勤，同时还包括旅游、城际出行等，其中机场是一个十分重要的应用场景。众所周知，机场作为一个城市重要的集中交通区域，每日的人流量是十分庞大的，但由于多数机场地处偏远地区，交通往往不是十分便利，虽然有机场大巴及地铁的存在，但难以满足用户的个性化需求，而如果乘坐出租车的话，成本又太高。因此，拼车这种既能满足个性化需求，又能降低出行成本的出行方式，在机场能够得到很好的应用。

目前，已经有部分大型出行平台推出了机场拼车这种新型服务模式。2016年10月底，携程推出旅客出行新方式“超级巴士”，所谓“超级巴士”，是以巴士的价格提供专车的服务，主要用于旅客的接送机、接送站，旨在为交通出行中倾向于选择公共交通的用户，提供便捷、低价的高性价比接送机服务，解决公共交通出行最后一公里的问题。

由于目前机场拼车服务处于发展初期，还存在较多可以进行优化改进的地方，如何有效匹配乘客，降低乘客的等待及绕路时间，提高乘客满意度，并合理定价以提高平台收益，成为了亟待解决的问题。因此，研究机场拼车服务的匹配及定价机制具有重要的现实意义。

## 1.2 国内外研究现状

### 1.2.1 拼车匹配及定价

拼车这种出行方式由来已久，历史上人们自发性组织拼车的案例不在少数，然而由于过去信息传递不便，导致其存在着较多的限制。近年来，随着通信技术的发展以及智能手机的普及，使得人们能够通过互联网传递自己的出行信息，从而更便捷地找到拼车的目标，更是让实时的、动态的拼车也成为了可能，这种节能环保的出行方式受到了国外学者的广泛关注。Niels<sup>[1]</sup>等针对单次搭载情况下的拼车问题，以整个系统的车辆里程总和最小作为目标函数，采用复杂优化算法来进行匹配，在匹配过程中，采用滚动策略，并且尽可能晚地完成匹配从而提高匹配精度。Douglas<sup>[2]</sup>等提出了一种贪婪随机自适应搜索启发式算法来解决此类匹配问题，并根据真实数据创建案例来进行分析。Stiglic<sup>[3]</sup>等人提出了设立汇合点的方式，进行多个乘客之间的匹配，除此之外，此文章还提出了优化算法来进行前期匹配对象的筛选。有关匹配的定价方面，Geisberge<sup>[4]</sup>等人认为应该把同行部分的成本均分于参与人之间；Niels<sup>[1]</sup>等人认为应按参与人未匹配时行驶距离比例来分配匹配后行驶路程的成本；而 Kleiner<sup>[5]</sup>等人认为最好采取实时拍卖机制来分配路程成本。

### 1.2.2 车辆路径问题

车辆路径问题 VRP（Vehicle Routing Problem）自提出以来，一直受到国内外学者的广泛关注。Dantzig<sup>[6]</sup>等人最早于 1962 年提出了 VRP 问题，并针对这一问题建立了 VRP 模型，用运筹学规划的求解算法来进行解决。在这之后，众多学者对于 VRP 的研究也越来越深入。

我国对于路径规划的研究起步较晚，但随着物流行业的快速发展，国内学者和物流公司已经认识到了路径规划的重要性，近年来路径规划的学术研究也逐渐增多。杨宇栋<sup>[7]</sup>在带时间窗的车辆规划模型算法中引入了客户直接排列的方法，以提高模型求解的效率。张海刚<sup>[8]</sup>用免疫算法对带时间窗的配送顺序规划问题进行了研究，并在算法中引入了信息熵，优化了结果的效率和可靠性。王文蕊<sup>[9]</sup>等对卷烟的配送过程进行了分析，运用 K 均值聚类法分割线路，将大规模的路线规划问题分割为多个小型路线规划问题从而解决。刘欣萌<sup>[10]</sup>等针对带时间窗的

VRP 问题，提出采用多智能体进化算法进行研究，并建立了约束条件为时间窗和运载量的多目标约束模型。

从国外研究现状来看，目前学者们在拼车的匹配和定价以及算法等方面都做了不少研究，但大多数局限于理论方面，罕有关于拼车在机场中实际应用的研究。因此，研究机场拼车服务的匹配和定价机制具有重要的现实意义。

### 1.3 研究内容

本文针对拼车服务在机场中的实际应用，主要研究以下两个问题：（1）各个乘客之间的匹配方法；（2）定价机制，其中包括乘客所支付的费用以及司机报酬的定价。机场拼车服务的匹配问题可近似简化为 VRP 问题，在此基础上本文以乘客等待时间及绕路时间最短为目标函数，建立匹配模型，并通过 Cplex 求解。通过收集机场的实际数据资料，分析得出不同时间段的乘客到达规律，建立适当的定价模型，求得最优定价方案。最后通过模拟仿真，预测该匹配及定价方案的实际效果，从而在实际生活中进行推广应用。

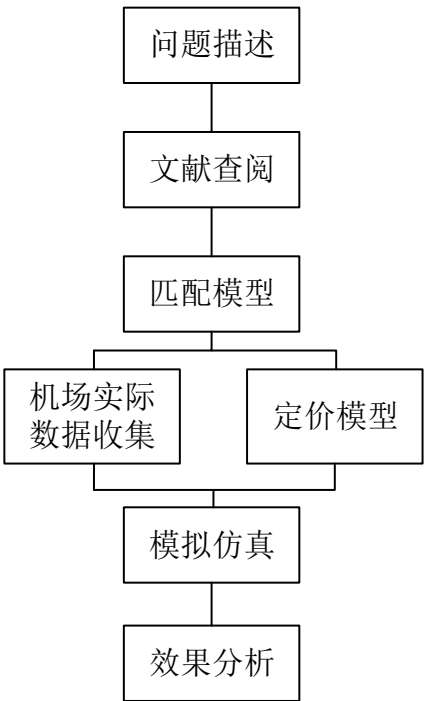


图 1.1 本文技术路线图

## 1.4 创新点

本文针对拼车这种互联网环境下的新型服务形式，结合机场环境的实际应用，对匹配及定价问题做出了深入的研究，并结合实际数据进行分析，所得到的解决方案对于降低乘客出行成本，提高乘客便利性，以及环境交通拥堵，减少环境污染等方面有着重要的现实意义。

## 2 理论基础

### 2.1 路径规划定义及研究要素

物流配送路径规划是指，在考虑一定的条件下，如车辆数量、装载量、客户需求量、规定交货时间等，通过规划相应的运输路径，在满足客户需求的条件下，使得总运输成本达到最低。其关键要素主要包括：配送中心、客户、车辆、货物、运输路径、约束条件以及目标函数等。

#### （1）配送中心

配送中心是整个配送体系的出发点和终止点，是物流网络中最关键的组成要素之一，其职能是对所有的货物进行存储、分类、组织等，实现对整个配送体系的整体调度。一个物流网络中往往存在多个配送中心。

#### （2）客户

客户指的就是货物最终的需求方，是整个配送系统的主体之一，也是路径规划过程中最重要的元素之一，整个配送过程就是为了满足客户的需求。对于单个配送中心而言，一般存在多个客户，不同的客户对于货物的种类、需求量、以及配送时间等的要求也各不相同，这些要求就是决定配送路径规划的主要因素。

#### （3）车辆

车辆作为配送过程的工具，在考虑最终成本的时候，主要就是考虑车辆成本，包括油耗成本、派遣成本等，并且在冷链物流的配送过程中，车辆还需要具有制冷功能，因此除了一般车辆成本外还需要考虑到制冷产生的成本费用。另外，为了保证配送行驶过程中的安全，配送车辆的实际载重量必须小于车辆限制的额定载重量。

#### （4）货物

货物是配送过程中需要运输的物品，即客户需求。不同的货物其质量和规格有所区别，对于温度的要求也太不一样，因此在规划具体的配送路径时，需要考虑货物的配送批次，以此来提高配送效率。

#### （5）运输路径

运输路径是路径规划的核心内容，通过对整个配送网络进行转化，可以将每个需求点简化为网络中的各个节点，而运输路径则就是连接各个节点的边，通过



将配送的成本、时间、距离等作为边的权重，可以用数学的方法规划出最优的运输路线。

#### （6）约束条件

约束条件是规划配送路径时需要考虑的先决条件，一般包括：车辆荷载、客户的时间要求、不同产品的配送需求、车辆起始点的限制等。

#### （7）目标函数

目标函数是配送路径规划问题的决策方向，常见的目标函数包括：总成本最小、运输总距离最短、配送总时间最短、配送车辆最少等。

## 2.2 路径规划算法研究

对于路径规划问题的算法研究有很多，大致可分为两类：精确算法（Exact Algorithm）和启发式算法（Heuristic Algorithm）<sup>[11a][11]</sup>。

#### （1）精确算法

精确算法是基于严谨的数学逻辑和证明方式来进行求解，可以得到最优的计算结果，但其计算过程十分复杂，对于参数较多的模型来说，往往需要花费大量的时间，甚至得不到结果。因此这类算法只能运用于小范围的车辆路径规划模型，在此不做过多讨论。

#### （2）启发式算法

启发式算法一般用于解决模型参数和决策变量较多的数学模型，其基本思路是先寻找一个可行的初始解，然后在限制条件内的解集空间中进行比较，寻找较优的解，其最终的计算结果不一定是最优解，但一般是可接受的较优解。启发式算法目前主要包括传统启发式算法和现代启发式算法，传统启发式算法主要由构造算法和两阶段法组成，现代启发式算法主要包括模拟退火算法、遗传算法、蚁群算法等<sup>[12]</sup>。

##### a.传统启发式算法

构造算法的基本原理是先制定一个运算规则，然后不断将路径外的点加入到计算中，一直到计算完所有的点。同时在计算过程中，将每一个新的路径与原路径相比较进行择优，最终得到最优解。其基本方法包括节约算法、最邻近法等。

两阶段法是将计算过程划分为两个阶段，首先采用构造算法来计算出初始最优解，然后对初始最优解进行验证并改进，不断优化以获得最优解。其主要方法包括 Fisher-Jaikumer 算法、Sweep 算法等。

b.现代启发式算法

现代启发式算法是人们根据现实生活中存在的客观规律，总结出来的一系列算法，相比较于传统启发式算法，其求解效率更高，并且求解结果更接近于最优解。目前针对车辆路径规划问题的现代启发式算法主要有：遗传算法、蚁群算法、模拟退火算法、粒子群算法、禁忌搜索算法等，其基本原理及优缺点如表所示 [13][14]。

表 2-1 启发式算法概述

算法名称	基本原理	优点	缺点
遗传算法 Genetic Algorithms	以遗传学原理为基础，通过遗传交叉、变异等步骤求解最优解	自适应能力强、全局搜索、易于其他算法结合	编程复杂，主观性较强，容易过早收敛
蚁群算法 Ant Colony Optimization	模仿蚂蚁觅食的行为，以同类留下的信息源规划，通过信息交流、传递求得最优解	稳定性强、正反馈机制、并行计算节省时间，启发式搜索特征	收敛速度慢，易出现收敛停滞，有时只能得到局部最优
模拟退火算法 Simulated Annealing	模拟固体金属加热后退火的过程，根据参数的设置，基于 Monte-Carlo 迭代，有一定概率跳出局部最优得到全局最优	计算过程简单，鲁棒性强，运用广泛，运用于复杂的非线性规划	运行时间长，执行效率低，依赖于参数的设置
禁忌搜索法 Tabu Search	模拟人来大脑记忆功能实现的，结合禁忌性、释放性原则，避免迂回搜索，用禁忌表记录优化过程	避免重复工作，避免陷入局部最优解	依赖初始解，算法操作只能单一操作，效率低

神经网络算法 Neural Network Algorithms	模拟动物大脑的神经网络行为，并行信息处理，运用神经元模型和网络拓扑结构	学习能力强，可以与其他算法相结合	函数构造复杂，难度较大，理论知识不完善
粒子群算法 Particle Swarm Optimization	模仿鸟类飞行觅食的行为，通过设置适应度、更新自身和全局的最优解来确定新的位置信息，迭代求得全局最优解	操作方便，收敛速度快，参数设置少，具有记忆性，能获取全局和个体最优解	局部搜索能力差，参数设置影响结果，理论尚不完善

## 3 机场拼车服务匹配模型

### 3.1 实时匹配流程框架

机场乘客的到达属于一个动态过程，在匹配过程中我们采用滚动时域的方式来进行匹配，当乘客发送拼车请求时，将其加入到一个匹配池中，并每过一定的时间间隔进行一次匹配，其中每次匹配并不需要将所有人匹配上，但到达等待时间上限的乘客将一定会被匹配上。

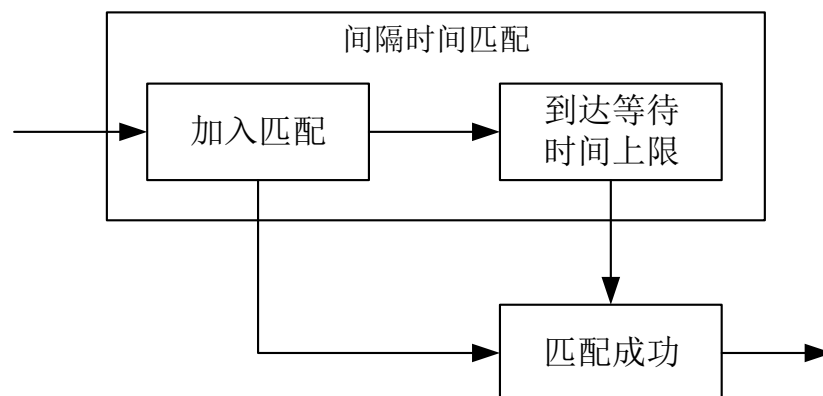


图 3-2 实时匹配流程框架

### 3.2 匹配模型

#### 3.2.1 问题数学描述

##### 建模思路与一般假设

该匹配模型基于 VRP 模型进行建立，为简化模型，提高运算效率，本文提出了机场拼车服务匹配模型的一般假设如下：

- (1) 各节点之间的距离为直线距离；
- (2) 接送路线中道路情况皆为畅通；
- (3) 车辆在接送过程中视为匀速运动；
- (4) 司机数量充足且每辆车的核载人数为 4 人（不包括司机）。

##### 模型的约束条件

在车辆路径问题中，往往存在诸多条件的约束，包括装载量、起止点等，同样，针对机场拼车服务的匹配问题，本文提出几点约束条件如下：

- (1) 所有车辆的出发地为机场；
- (2) 乘客达到等待时间上限时必须被匹配上；

- (3) 所匹配的相邻乘客的接送路线具有时间的节省；
- (4) 每辆车的实际匹配乘客数量不得超过核载人数（4 人）；
- (5) 乘客的实际到达时间不得超过直线距离所花费时间的某一比例。

表 3-1 符号说明

$I \& K$ :	乘客和司机的集合，其中 $i_0$ 表示起始点（即机场） $i_m$ 表示虚拟终点（即最后一位接受服务的乘客的目的地）
$t_i^0$ :	第 $i$ 个乘客直接从机场到达目的地所需要花费的时间；
$t_{ij}$ :	从第 $i$ 个乘客的目的地到第 $j$ 个乘客目的地所需要花费的时间；
$w_i$ :	第 $i$ 个乘客在机场的等待时间；
$g_{ik}$ :	第 $i$ 个乘客由司机 $k$ 接送时到达目的地的实际时间；
$\Delta_i^+$ :	经过筛选后能从第 $i$ 个乘客的目的地到达的下一个目标点的乘客的集合；
$\Delta_i^-$ :	经过筛选后能到达第 $i$ 个乘客的目的地的上一个目标点的乘客集合；
$h_i$ :	表示第 $i$ 个乘客是否到达等待时间上限，若达到上限 $h_i = 1$ ，否则 $h_i = 0$ ；
$x_{ijk}$ :	决策变量，当乘客 $i, j$ 由司机 $k$ 接送，且乘客 $i$ 是乘客 $j$ 的前一位被送至目的地时 $x_{ijk} = 1$ ，否则 $x_{ijk} = 0$ ；

### 3.2.2 筛选条件

为降低匹配过程的复杂度，在正式匹配之前，我们首先根据各个乘客之间的目的地，对可能匹配到一起的乘客组合进行筛选，筛选约束如下

$$\beta t_j^0 \geq t_i^0 + t_{ij}, \quad (3-1)$$

该式表示只有当绕路过后，还能在一定的时间范围内将另一个乘客送往目的地时，两个乘客才有可能被匹配到一起。

$\forall i, j \in I$  若  $j$  满足式(3-1)，则  $j \in \Delta_i^+$ ；

$\forall i, j \in I$  若  $i$  满足式(3-1)，则  $i \in \Delta_j^-$ 。

### 3.2.3 模型建立

为尽可能提高顾客满意度，本文将乘客总的绕路时间和在机场的等待时间最

短作为目标函数，则目标函数表示为：

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{i,j \in I} (t_{ij} + \alpha * w_i) * x_{ijk} \quad (3-2)$$

Subject to:

$$0 \leq \sum_{k \in K} \sum_{i,j \in I} x_{ijk} - h_i \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (3-3)$$

$$\sum_{j \in I} x_{0jk} = 1 \quad k \in K \quad (3-4)$$

$$\sum_{i \in \Delta_j^-} x_{ijk} - \sum_{i \in \Delta_j^+} x_{jik} = 0 \quad k \in K \quad j \in I \quad (3-5)$$

$$g_{ik} + t_{ij} \leq g_{jk} + (1 - x_{ijk}) * M \quad k \in K \quad i, j \in I \quad (3-6)$$

$$g_{ik} \leq \beta * t_i^0 \quad k \in K \quad i \in I \quad (3-7)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in \Delta_i^+} x_{ijk} \leq 4 \quad k \in K \quad (3-8)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad k \in K \quad i, j \in I \quad (3-9)$$

3-3 表示达到等待时间上限的乘客必须被匹配上，并且每个人最多只能被一辆车服务一次；

3-4 表示所有人都从机场出发；

3-5 表示目标点的连贯性，即到达某点后再从某点出发；

3-6 表示相匹配的相邻乘客的接送路线具有时间的节省；

3-7 表示乘客实际到达时间不得超过某一系数比例范围；

3-8 表示每辆车搭载乘客数量不得超过 4 人；

3-9 表示决策变量为 0,1 变量。

### 3.3 利用 CPLEX 求解模型

CPLEX 是一种用于 GAMS(一般代数建模系统)的求解器，用户可以将 CPLEX 的优化求解器能与 GAMS 的高水平建模功能结合起来，CPLEX 设计的理念是在最小的用户介入下快速的求解大型复杂问题。它可用于求解线性规划 (Linear programming) 问题、二次规划 (quadratic programming) 问题、二次约束规划 (quadratically constrained programming) 问题与混合整数规划 (mixed

integer programming) 问题。可以处理数以百万计的约束 (constraint) 和变量 (variable) 的问题, 并且由于其灵活性、高性能型和稳定性, 一直备受业界人士的青睐。

CPLEX 求解线性规划和混合整数线性规划问题, 能够处理数以百万计的变量和约束条件, 开发人员通过组件库从其他编程语言调用 CPLEX 中的算法即可。常见的组件库包括 C、C++、java、matlab 和 .net。同时也可以直接使用 ILOPCPLEX 软件建模语言 OPLCPLEX 调用算法, CPLEX 中的算法包括对偶单纯形算法、原始单纯算法、网络优化求解算法、闸算法和筛选算法。求解 ILP 问题采用的是 CPLEX 中的对偶单纯形法。

通过 CPLEX 对上述模型进行求解, 我们能够得到决策变量  $x_{ijk}$  的值, 当  $x_{ijk}$  等于 1 时, 表示  $i, j$  乘客由司机  $k$  进行接送, 且  $i$  是  $j$  的前一位被送至目的地的乘客。通过这种方式, 我们可以得出每辆车所匹配到的乘客, 以及行驶路线。

## 4 机场到港旅客数据及定价分析

### 4.1 数据收集

携程的机场拼车服务（超级巴士）营业时间为早上 9 点到次日凌晨 3 点，考虑到乘客从飞机抵达到离开机场之间还存在着一定的距离，同时还需要取行李等。因此统计从早上 8 点到晚上 2 点的航班到达情况。我们通过双流机场官方网站上收集了 1 月 15-21 日这七天的机场到达航班的机型和到港时间，通过对每个航班座位数量加总，来估算机场到达人数，以此来间接估计到港旅客数量，通过对这几日数据求平均值，得到的平均机场到达人数如下图所示：

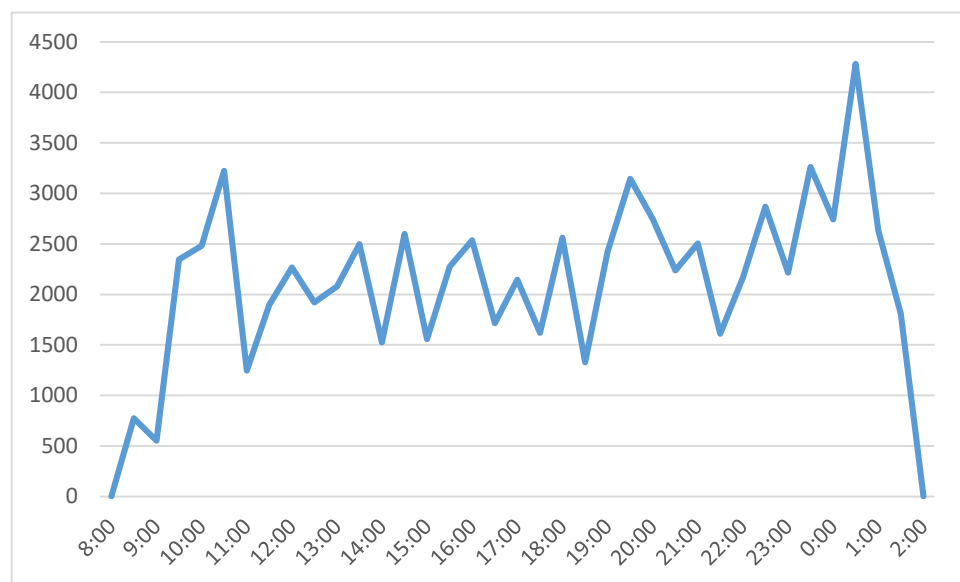


图 4-1 机场平均到港旅客数量

从这几日的平均数据可以看出，机场到达旅客数量在每天存在着一定的规律性，到港时间分布在早上点到第二日凌晨 2 点之间，每日到港旅客高峰出现在晚上 23 点到次日凌晨 1 点这一时间段，在早上 10 点和晚上 8 点也存在着小高峰，其他时间内的到港旅客数量总的来说较为平稳。根据以上特征，我们可以大致将到港时间划分为三个阶段，通过对三个阶段区别定价，以提高乘客满意度并增加平台收益。



## 4.2 定价分析

目前携程机场拼车服务采用的是固定价格的定价方式，即一定范围区域内的乘客只需支付固定的价格，即可送至目的地；而司机也是固定的报酬，即一趟接送不管乘客数量多少，都是固定的薪酬水平。然而在考虑到不同时间段内需求量的变化，目前这种定价方式并不是十分合理。从理论以及实际经验来看，区别定价才是提高顾客满意度以及平台收益的最佳方法。

传统的定价方式认为，当需求量较大时，应当提高产品价格以获取利润；而当需求量较小时，应当降低产品价格以刺激市场。而我们通过对机场拼车服务的特殊环境条件的分析发现，需求较大时降低产品价格，需求较小时提高产品价格，反而能够在保证乘客满意度的同时，增加平台的利润。具体分析如下。

### 乘客效用函数

对于乘客拼车服务的效用，可以大致用下式来进行表示：

乘客效用=时间效用+空间效用-价格

对于所有匹配成功的乘客来说，最终都能到达自身目的地，因此我们在计算过程中不再考虑其空间效用。而对于时间效用来说，该拼车服务属于一种概率产品，即乘客在购买该服务时并不知道会与多少人共乘，也不知道共乘之后的接送顺序，因此我们可以求出不同时间段的效用期望来进行衡量，如下所示：

$$\begin{aligned} F_t &= U_t - P_t \\ &= \sum_{x=1}^4 n_{x,t} * u_x - P_t \end{aligned} \quad (4-1)$$

$F_t$ 表示不同时间段内，乘客的期望效用；

$U_t$ 表示不同时间段内，乘客的期望时间效用；

$P_t$ 表示不同时间段内，乘客所需要支付的费用；

$u_x$ 表示不同数量乘客共乘时，乘客的时间效用；

$n_{x,t}$ 表示不同时间段内，不同乘客数量共乘的概率函数；

$$u_x = \begin{cases} u_0 & x = 1 \\ \frac{1}{2} * (1 + \beta)u_o & x = 2 \\ \frac{1}{3} * (1 + \beta + \beta^2)u_o & x = 3 \\ \frac{1}{4} * (1 + \beta + \beta^2 + \beta^3)u_o & x = 4 \end{cases} \quad (4-2)$$

其中， $0 < \beta < 1$ 。

## 定价分析

基于以上效用函数，我们可知：在需求量较低的时间段内，顾客选择拼车时，平台存在一定的乘客数量不足的风险，容易导致亏损情况的发生；而对于乘客来说，有更大可能将会以拼车的价格，享受专车的服务。在这种情况下，我们认为拼车平台可以适当的调高服务价格，由于乘客拼车人少时获得的时间效用更高，适当的提高价格几乎不会改变旅客的拼车决策。

而在到港高峰期，需求量较大时，对于乘客而言，将会以更高的概率多人共乘，此时时间效用较低。而对于平台来说，适当地降低价格能够吸引更多乘客拼车，既能确保车辆的上座率，也可以减少绕路距离，在提高了乘客的满意度的同时，也能保证自身的盈利。

## 5 总结展望

本文针对拼车服务在机场中的实际应用，主要研究了司机与各个乘客之间的匹配方法以及定价机制。本文以乘客等待时间及绕路时间最短为目标函数，建立了基于 VRP 的匹配模型并进行求解。通过收集机场的实际数据资料，分析得出不同时间段的乘客到达规律，建立适当的定价模型，求得最优定价方案。最后通过模拟仿真，预测该匹配及定价方案的实际效果，从而在实际生活中进行推广应用。

然而由于项目的时间及资源的限制，本研究并未实际完成，同时也存在一些缺陷，还需要进一步完善。在今后的研究中我们还会对该问题进行进一步的探讨，也希望该研究的成果能够在现实生活中发挥作用，通过将理论联系实际，为提高人们生活质量，缓解交通拥堵、提高资源的使用效率、减少环境的污染做出微小的贡献。

## 参考文献

- [1] Agatz, N.A.H., Erera, A., Savelsbergh, M.W.P., Wang, X., 2011. Dynamic ride-sharing: a simulation study in metro atlanta. *Transportation Reserch Part B, Methodological* 45 (9), 1450–1464.
- [2] Douglas O. Santos, Eduardo C. Xavier, 2015. Taxi and Ride Sharing: A Dynamic Dial-a-Ride Problem with Money as an Incentive. *Expert Systems with Applications* 42 (2015) 6728–6737.
- [3] Stiglic, M., Agatz N., Savelsbergh M., Gradisar M., 2015. The benefits of meeting points in ride-sharing systems. *Transportation Research Part B* 82 (2015) 36–53.
- [4] Geisberger, R., Luxen, D., Neubauer, S., Sanders, P., Volker, L., 2010. Fast detour computation for ride sharing. In: Erlebach, Thomas, Lübbecke, Marco, (Eds.), *Proceedings of the 10th Workshop on Algorithmic Approaches for Transportation Modelling, Optimization, and Systems, OpenAccess Series in Informatics (OASICS)*, vol. 14. Schloss Dagstuhl–Leibniz-Zentrum fuer Informatik, pp. 88–99.
- [5] Kleiner, A., Nebel, B., Ziparo, V., 2011. A mechanism for dynamic ride sharing based on parallel auctions. In: *Proc. of the 22th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, Barcelona, Spain, pp. 266–272.
- [6] Paolo Toth, Daniele Vigo, 2002. *THE VEHICLE ROUTING PROBLEM*[M]. Society for Industrial and Applied Mathematics philadelphia.
- [7] 杨宇栋, 朗茂祥, 胡思继, 2006. 有时间窗车辆路径问题的模型及其改进模拟退火算法研究[J]. *管理工程学报*, 20(3): 204-107.
- [8] 张海刚, 顾幸生, 王军伟, 2007. 基于改进免疫遗传算法的带硬时间窗车辆调度问题的实现[J]. *微电子学与计算机*, (6): 218-221.
- [9] 王文蕊, 吴耀华, 2013. 带实际约束的大规模车辆路径问题建模及求解[J]. *控制与决策*, 28(12): 1799-1804.
- [10] 刘欣萌, 何世伟, 陈胜波等, 2014. 带时间窗 VRP 问题的多智能体进化算法[J]. *交通运输工程学报*, 14 (3): 105-110.
- [11] 方金城, 张岐山, 2006. 物流配送车辆路径问题(VRP)算法综述[J]. *沈阳工程学院学报*, 2(4): 357-360.

- [12] 潘立军. 带时间窗车辆路径问题及其算法研究[D]. 博士学位论文, 中南大学, 2012.
- [13] 李晶. 协同配送车辆路径问题多目标优化研究[D]. 硕士学位论文, 兰州交通大学, 2013.
- [14] 郭建红. 带时间窗的卷烟物流配送动态车辆路径优化方法研究[D]. 学位论文, 北京交通大学, 2013.
- [15] 谢秉磊, 郭耀煌, 郭强, 2002. 动态车辆路径问题: 现状与展望. 系统工程理论方法应用 Vol. 11 No. 2, 116-120.
- [16] 肖增敏, 李军, 2004. 动态网络车辆路径问题: 研究现状及展望. 系统工程 Vol. 22, No. 7, 68-71.
- [17] Afian Anwar, Mikhail Volkov, Daniela Rus, 2013. ChangiNOW: A Mobile Application for Efficient Taxi Allocation at Airports. Intelligent Transportation Systems. MoD6.2, 694-701.
- [18] Zelin Zhang, Kissan Joseph, Ramanathan Subramaniam, 2015. Probabilistic Selling in Quality-Differentiated Markets. Institute for Operations Research and the Management Sciences, Articles in Advance, pp. 1–19.
- [19] Scott Fay, Jinhong Xie, Probabilistic Goods: A Creative Way of Selling Products and Services, Marketing Science 27(4):674-690.