

2017 湖南省研究生数学建模竞赛参赛承诺书

我们仔细阅读了湖南省研究生数学建模竞赛的竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们将受到严肃处理。

我们授权湖南省研究生数学建模竞赛组委会，可将我们的论文以任何形式进行公开展示（包括进行网上公示，在书籍、期刊和其他媒体进行正式或非正式发表等）。

我们参赛选择的题号是（从组委会提供的试题中选择一项填写）：

我们的队号为（填写完整的队号）：201718001007

所属学校（请填写完整的全名）：国防科学技术大学

参赛队员（打印并签名）：

1. 陶雪峰

2. 郭锐

3. 龚秋武

指导教师或指导教师组负责人(打印并签名)：

日期： 年 月 日

评阅编号（由组委会评阅前进行编号）：

2017 湖南省研究生数学建模竞赛

编号专用页

评阅编号（由组委会评阅前进行编号）：

评阅记录（可供评阅时使用）：

[illegible]

湖南省第三届研究生数学建模竞赛

题 目 出租车合乘业务系统设计

摘

要：出租车合乘业务能够大幅度提高车辆的运力，并降低

乘客乘车成本，提高司机收入，正成为目前研究的热点。本文根据题目要求，对出租车的合乘业务系统进行设计。将合乘系统分为乘客分组模块、出租车分配模块和计费模型模块三个相对独立的子模块，展开深入研究。

将乘客分为单乘、两人合乘和三人合乘三种类型，基于乘客位置和乘车路线矢量两个参数，定义乘客合乘分组条件，即任意两名乘客的上车点之间的距离和其路线矢量夹角均小于某一设定的值时，则认为该两名乘客能够合乘同一辆车；如果任意三名乘客中的每两人均满足合乘策略，则认为这三名乘客能够合乘同一辆车。基于择优策略，以乘客起点距离和路线夹角为参变量对乘客进行分组。在 MATLAB 中编写乘客分组程序，实现乘客的快速分组，并基于单一变量法，检验各参变量对分组结果的影响。

在乘客分组情况确定的情况下，依据接客时间最短原则，提出两种车辆分配策略：择优分配法和全局最优分配法。分析表明，两种方法得到的分配结果基本相同。从算法效率角度考虑，择优分配法更有优势。车辆分配结果证明本文提出的车辆分配策略能够有效找出距乘客最近的出租车，缩短乘客等待时间。同时，车辆的分配结果间接验证了乘客分组结果的合理性。

在乘客分组和出租车分配方案确定的情况下，将出租车接送乘客分为接和送两个阶段，每个阶段均基于时间最短原则，规划最佳行车路线。在常规计费模式的基础上，引入合乘模式下的优惠系数，分别从乘客和出租车司机的角度出发，提出三个目标函数，建立优惠系数的优化模型。采用差分进化算法进行求解，并进行了各种合乘模式下的算例分析，验证了计费模型的合理性。

本文的合乘系统设计策略实现了模块化计算，各个模块相互独立且通用性强，能够适用于出租车的实时调度。

第一章 绪论

1.1 文献综述

出租车合乘业务是指路线相同或相近的两位或多位乘客共同乘坐同一辆出租车出行，系统根据合乘人数、乘车时间、实际路线等因素，分别计算出每位乘客的车费（通常低于各自独乘时的车费）。司机收入则为所有乘客支付的车费总和。该业务可以在不增加运营车辆总数的情况下提高运力，有助于缓解打车难，而且能够降低乘客出行成本，同时提高司机收入。因此，相当一部分乘客、司机愿意接受该业务，特别是在打车的高峰时段。

在出租车合乘问题等方面的研究，国内外许多学者进行了大量的研究。美国等国家为应对能源危机，早在 20 世纪就提出了合乘的概念及制度，对合乘过程进行了一些研究^{[1][2][3][1]}；Parragh 提出基于异质用户的 dial-a-ride 问题解决方案^[4]，文献[5]提出适应性插入算法解决窄时间窗口的单车辆 dial-a-ride 问题。吴芳等^[6]以合乘出租车司机收益与乘客服务率最大化及乘客费用最小化为目标，建立了出租车最佳路径选择及配车调度优化模型，并设计了改进粒子群算法求解；周和平等^[7]以保障驾驶员合理收益为约束，构建出租车合乘路径选择与费率优化模型，并针对模型特点，设计相应的遗传算法对其进行求解；张薇等^[8]针对出租车合乘系统定价问题，综合考虑多种定价因素，构建了多目标优化模型，设计了基于改进小生境粒子群的出租车合乘定价多目标优化算法，提出了一种合乘定价优化方法；谭运梅等^[9]设计了动态的合乘模式，建立模型计算该模式下的乘客费用；罗超等^[10]建立了出租车数量模型，采用 Floyd 算法计算整个网络中任意两点间的最短路问题，依据合乘出租车上的乘客数确定不同的合乘状态，在体现收费公平的基础上建立了合乘计费模型，解决了分级站点合乘组织及生活性合乘问题；张瑾等^[11]提出利用模拟退火算法解决出租车的动态解决方案；王万良等^[12]提出了基于量子进化算法的车辆共享模型；李琳等^[13]运用单亲遗传算法解决物流合乘的路径优化问题，在提高合乘成功率的同时，还有效降低了车辆运行时的总成本。文献[14]-[23]对合乘的路径、过程以及接送等问题进行了研究。

1.2 问题分析

本文在已有相关研究的基础上，以充分调动乘客、司机等各方参与合乘的积极性为目的，通过研究合乘中的乘客分组、出租车分配和车费计算三方面问题，解决本题给出的三个问题。

（1）乘客分组

合乘的最基本问题就是乘客的分组问题，如何建立合乘分组模型，直接影响后续出租车分配和乘客车费的计算。为解决该问题，需要设计合乘策略，然后根据该策略设计分组流程，最后将全部有乘车需求的乘客划分为单乘、两人合乘和

三人合乘三类。

(2) 出租车分配

乘客分组完成后，如何给各组分配出租车的问题。为使乘客等待时间最短，应基于就近选择的原则进行车辆分配。

(3) 车费计算

该问题是合乘需要解决的最后一个问题，为解决该问题，需建立计费模型，设计车费优惠系数，从乘客和出租车司机两个角度考虑，一方面降低合乘乘客的车费，另一方面提高出租车司机的收入。

结合上述问题分析，提出如下合乘方案设计流程图：

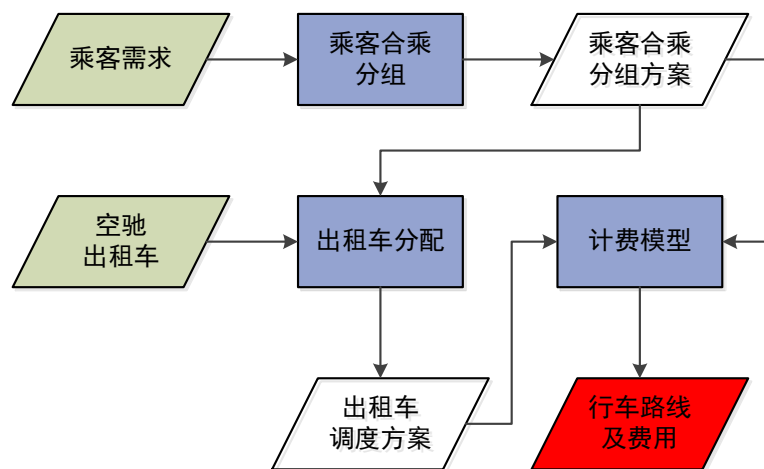


图 1 合乘方案设计流程图

按照上述的方案设计流程图，本文共分为五章，第一章为绪论，第二章为乘客分组策略，第三章为出租车分配策略，第四章为计费模型，第五章为总结。由浅入深，由部分到整体，逐步完成整个方案的设计。

第二章 乘客分组策略

乘客的乘车需求是出租车分配和乘客行程费用的基础，同时也是乘客之间能否构成合乘的前提条件。本章即根据乘客的乘车需求，按照设定的择优合乘策略将所有乘客分成三人合乘、两人合乘和单乘三种类型。

2.1 模型基础参数

假设乘客的总人数为 n ，乘客 $i, (i=1,2,...,n)$ 的乘车地点的坐标（单位为 km）为 $[x_{start}^i, y_{start}^i]$ ，目的地（下车点）的坐标为 $[x_{end}^i, y_{end}^i]$ ，其中 x_{start}^i 和 x_{end}^i 分别为乘车点和下车点的横坐标， y_{start}^i 和 y_{end}^i 分别为乘车点和下车点的纵坐标；下标 $start$ 表示起始点，也即乘车点，下标 end 表示终止点，也即下车点；上标 i 表示第 i 个乘客。则乘客 i 的位置信息可表示为：

$$\mathbf{X}_i = [x_{start}^i \quad y_{start}^i \quad x_{end}^i \quad y_{end}^i] \quad (2.1)$$

从而全体乘客的位置信息可描述为：

$$\mathbf{X} = [\mathbf{X}_1 \quad \mathbf{X}_2 \quad \dots \quad \mathbf{X}_n] \quad (2.2)$$

定义乘车方向矢量矩阵 $\mathbf{v} = [\vec{v}_1 \quad \vec{v}_2 \quad \dots \quad \vec{v}_n]$ ，其中 $\vec{v}_i$ 表示任意一个乘客 i 的乘车点到下车点的连线构成的矢量，具体表达式为：

$$\vec{v}_i = (x_{end}^i - x_{start}^i, y_{end}^i - y_{start}^i) \quad (2.3)$$

定义方向夹角为 θ_{ij} ，其意义为两个矢量 $\vec{v}_i$ 和 $\vec{v}_j$ 之间的夹角，在本模型中，其表示为任意两个乘客乘车点与下车点连线构成的方向矢量之间的夹角，表达式如下：

$$\theta_{ij} = \langle \vec{v}_i, \vec{v}_j \rangle, (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (2.4)$$

则所有乘客乘车方向矢量之间构成的方向夹角矩阵为：

$$\theta = \begin{bmatrix} \theta_{11} & \theta_{12} & \dots & \theta_{1n} \\ \theta_{21} & \theta_{22} & \dots & \theta_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta_{n1} & \theta_{n2} & \dots & \theta_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

2.2 模型建立

考虑到现实生活中，实际多人合乘一辆出租车时，大多数为两人合乘，少数为三人和四人合乘，但限于本问题中出租车最多可搭乘三人，所以不考虑四人合乘的情况，因而问题简化为单乘、两人合乘和三人合乘三种情况。又由于两人合

乘的情况更为常见，所以在分组的过程中，优先考虑两人合乘的情况。

2.2.1 距离和夹角定义

在该模型中，乘客能否合乘主要考虑两个方面的因素，分别为乘客的乘车点之间的距离和路线矢量之间的夹角。

(1) 乘客乘车点之间的距离

任选两名乘客 i 和 j ，则其各自的乘车点坐标分别为 $[x_{start}^i, y_{start}^i]$ 和 $[x_{start}^j, y_{start}^j]$ ，由于问题中定义了城市道路为边长为 500 米的正方形，故出租车的行驶路线只能为直线或折线，所以在计算任意两名乘客乘车点之间的距离时不能按照常规的计算两点之间的直线距离，而应该计算两点之间的折线距离，如图 2。

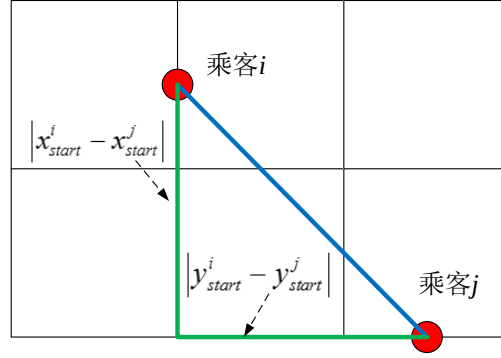


图 2 乘客起点之间距离示意图

即两乘客之间的距离应该按照上图绿色的线来表示，而非蓝色的线。设两乘客起点之间的距离为 d_{ij} ，其值为：

$$d_{ij} = |x_{start}^i - x_{start}^j| + |y_{start}^i - y_{start}^j| \quad (2.6)$$

(2) 乘车路线矢量之间的夹角

同样，对上面所选的两名乘客 i 和 j ，在图上画出其各自的下车点，如下图：

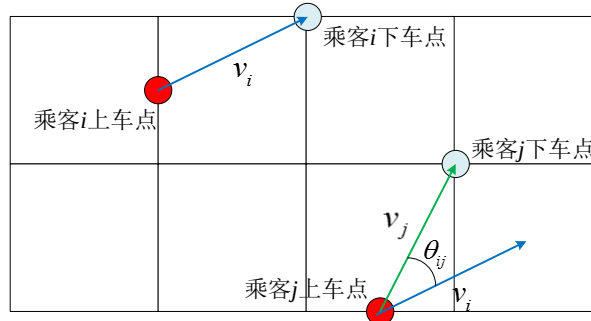


图 3 任意两乘客路线矢量及其夹角示意图

则图 3 中的 $\vec{v}_i$ 和 $\vec{v}_j$ 即为该两名乘客的路线矢量，将矢量 $\vec{v}_i$ 平移至起点与 $\vec{v}_j$ 相同

使两矢量有共同的起点（如上图所示），则图中的 θ_{ij} 即为两个路线矢量的夹角。

对该角的求解，可利用反三角余弦公式，即：

$$\theta_{ij} = \arccos \left(\frac{\vec{v}_i \cdot \vec{v}_j}{\|\vec{v}_i\| \times \|\vec{v}_j\|} \right) \quad (2.7)$$

2.2.2 乘客择优合乘分组

(1) 合乘策略

定义了乘客合乘因素后，设定选择策略，逐次选择出能够两人合乘和三人合乘的乘客，并将其对应的乘客编号全部记录，然后存储在矩阵 $\mathbf{D}_{k \times 2}$ 和 $\mathbf{T}_{m \times 3}$ 中， $\mathbf{D}$ 和 $\mathbf{T}$ 每一行中的元素即为选择出的能够合乘的两名和三名乘客的编号。

设定两名乘客乘车点之间的距离和路线矢量夹角满足如下条件，则认为可以合乘：

$$st. \begin{cases} d_{ij} \leq \delta_d, \delta_d \leq \Delta d \\ \theta_{ij} \leq \delta_\theta, \delta_\theta \leq \Delta \theta \end{cases} \quad (2.8)$$

乘客起点之间的距离必须在 δ_d 以内，其路线矢量夹角必须在 δ_θ 以内，也即乘车点和目的地方向大致相同，其中 Δd 和 $\Delta \theta$ 分别为距离和夹角的极限值，也即超过该距离或夹角的乘客不考虑合乘，将这一类视为特殊情况，归为单乘类（独自一人乘坐一辆出租车），如下图所示。

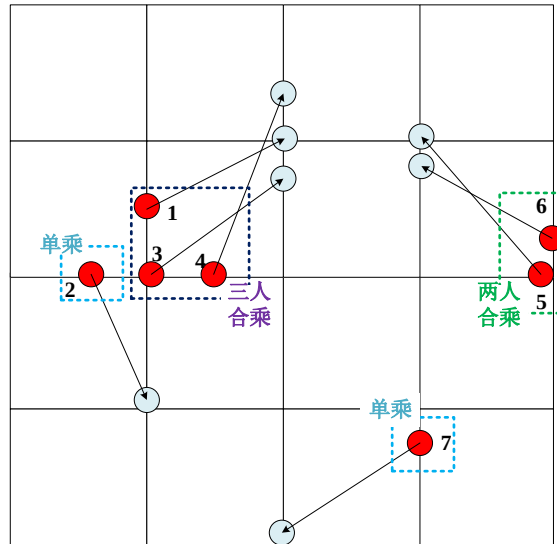


图 4 合乘策略示意图

如图 4 所示，红色的点为乘客起点，淡蓝色的点为乘客预期目的地。分别表示出了单乘、两人合乘以及三人合乘的情况，其中编号为 7 的乘客由于起点距离其他乘客很远而被“孤立”成为单乘类，编号为 2 的乘客虽然存在与他起点距

离相近的 1、3 和 4 号乘客，但由于其路线矢量与这三个乘客路线矢量夹角太大同样被“孤立”，因而和 7 号乘客一样归为单乘类；编号 5 和 6 的两个乘客起点位置很接近而且路线矢量夹角也较小，满足上述合乘条件，故这两名乘客归为两人合乘乘客一类；同理，编号 1、3 和 4 的三名乘客满足上述合乘条件而归为三人合乘乘客一类。

(2) 合乘乘客分组

在选择的过程中，将 δ_d 均从一个非常小的接近于零的正实数 ε 开始渐渐增加，很显然在开始阶段，合乘的条件很苛刻，匹配成功的乘客数量很少，但其匹配“质量”很高，因为其起点非常接近且终点方向很一致，也即所谓的逐次择优合乘策略。在挑选出来的满足合乘的乘客中，只保留两人合乘和三人合乘的情况，将超过三人合乘的乘客放回到未匹配成功的乘客中，在降低合乘要求时继续匹配，也即每次只挑选出两人合乘和三人合乘的情形，其余都是为无法合乘。将匹配成功的两人合乘乘客记录在 $\mathbf{D}_{k \times 2}$ 中，三人合乘乘客记录在 $\mathbf{T}_{m \times 3}$ 。随着剩下的未匹配乘客数量的减少，各乘客之间的合乘要求必须降低，否则无法匹配成功，因而需要继续增加 δ_d 的数值。如此随着 δ_d 数值的增加，剩下的未匹配的乘客会越来越少，直到最终 δ_d 达到了极限值，仍未匹配成功的乘客则视为无法与其他乘客合乘，将其归为单乘类，记录在 $\mathbf{S}_{l \times 1}$ 中，分组过程描述如图 5。

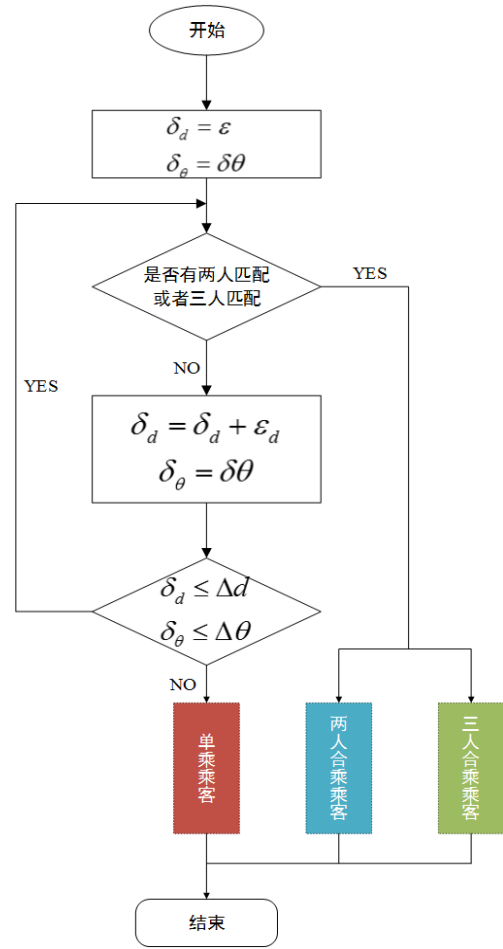


图 5 乘客分类流程

最

终， $\mathbf{S}_{l \times 1}$ 、 $\mathbf{D}_{k \times 2}$ 和 $\mathbf{T}_{m \times 3}$ 三个矩阵将所有乘客分成了独自一人乘车、两人搭配合乘一辆车和三人搭配合乘一辆车这三种情况，即完成乘客分类。

2.3 算例仿真

为检验模型的有效性，结合本题所给出的乘客数据 *requests.csv*，利用 MATLAB 软件编写乘客分类函数(见附件 *Passenger_Sorting* 程序文件包)，对乘客数据进行分类，单乘、两人合乘和三人合乘的分类结果存储在 *Condition_i.mat*

($i=1,2,3,4,5,6,7$)数据包中的 *new*、*double_NoRepeat_final* 和 *triple* 三个矩阵中。

2.3.1 仿真结果

在程序中，将合乘策略中的路线矢量夹角 δ_θ 固定并赋值为 30° ，起点之间的距离上限 Δd 赋值为 3km，距离的增加步长 ε_d 赋值为 1m，即：

$$\begin{cases} \delta_\theta = \Delta\theta = 30^\circ \\ \varepsilon_d = 1m \\ \Delta d = 3km \end{cases} \quad (2.9)$$

运行程序后，得到的分类结果（见附件 *Condition_1.mat*）如下表 1：

表 1 分类结果

类别	单乘	两人合乘	三人合乘	合计
组数/组	32	373	74	479
人数/人	32	746	222	1000

在预处理数据时发现提供的乘客数据 *requests.csv* 中有一位乘客（编号 p0086）的乘车点（[21.7448,26]）和目的地（[21.7448,26]）坐标相同，所以在分类前将该乘客从数据库中剔除，然后将剩下的所有乘客按照原来的顺序重新编号，因而算例中实际参与分类的乘客只剩下 1000 人，从上述分类结果中得到的人数总和为 1000 人，两者相吻合。另外，从合计一栏可以看到，总的分类组数是 479 组，也即共需要 479 辆出租车就能将这 1000 名乘客接送完毕，这个数据小于所提供的 667 辆，说明分类具有可行性，大大降低了所需出租车的数量。

如下表 2 给出三类乘客中的部分乘客编号，其中单乘组中每一行的数字即为单乘乘客的编号值，两人合乘组中每一行的两个数字表示合乘的两名乘客的编号值，三人合乘组中每一行的三个数字表示合乘的三名乘客的编号值。

表 2 乘客分类及其相应编号值

单乘（32 组）	两人合乘（373 组）		三人合乘（74 组）		
71	2	3	60	37	741
96	4	269	164	547	803
239	13	812	244	398	598
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
972	465	744	254	960	540
993	125	479	675	324	984

2.3.2 仿真结果分析

为了检验分类的可靠性，在分类结束后，将两人合乘和三人合乘的数据进行进一步的验证。对于两人合乘的乘客，计算乘车点之间的距离和路线矢量之间的夹角，得到图 6；对于三人合乘的乘客，分别计算每组当中每两人乘车点之间的

距离和路线矢量之间的夹角，得到图 7~图 9，图中黑色的虚线为设定的乘车点之间距离和路线矢量夹角的上限值。

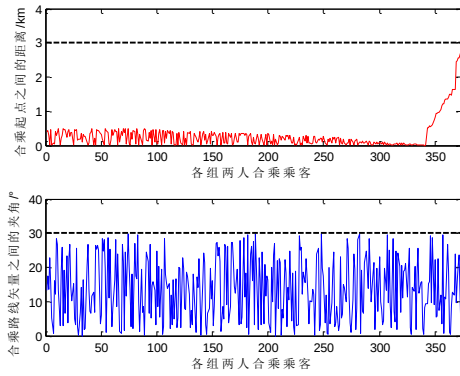


图 6 两人合乘乘客分类验证

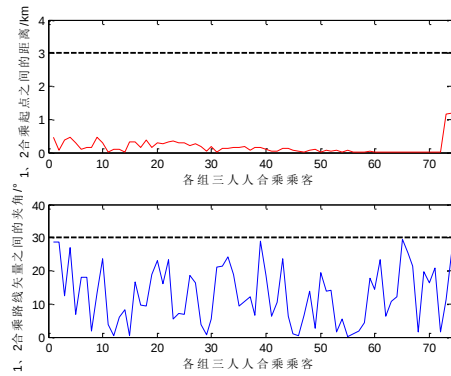


图 7 三人合乘乘客分类验证（1）

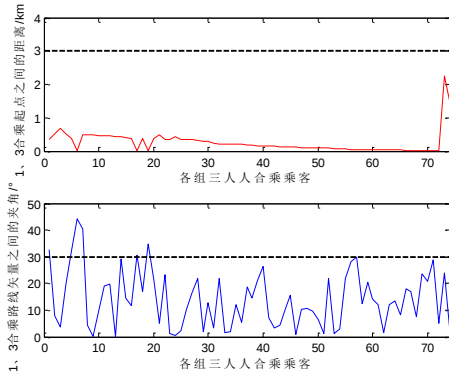


图 8 三人合乘乘客分类验证（2）

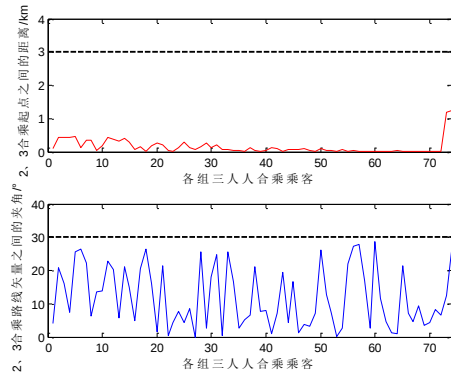


图 9 三人合乘乘客分类验证（3）

从图 6 可以看出，所有两人合乘的组中，两名乘客乘车点之间的距离均在设定的 3km 以内，路线矢量之间的夹角也均在设定的 30° 以内，说明两人合乘的分组是合理有效的。从图 7 和图 8 可以看出，三人合乘的组中，每组的第三个乘客与其他两个乘客均满足合乘条件，从图 9 中看出，绝大部分组中第一个乘客与第三个乘客之间满足合乘条件，只有个别组中第一和第三个乘客之间的路线矢量夹角稍大于 30° ，这是由于在根据合乘策略进行合乘分类的过程中，当第二个乘客与只与该组中其他两个乘客满足合乘条件时，未考虑其余两人之间是否满足合乘条件，而直接将此三人划归为三人合乘组造成的；算例结果表明，该策略下分组只出现少数异常情况，其具有合理性和准确性。

下面，根据分类结果，从两人合乘和三人合乘的组中各随机挑选五组乘客，单乘组所有乘客全部挑选，画出其乘车点、目的地以及路线矢量，得到图 10~图 12：

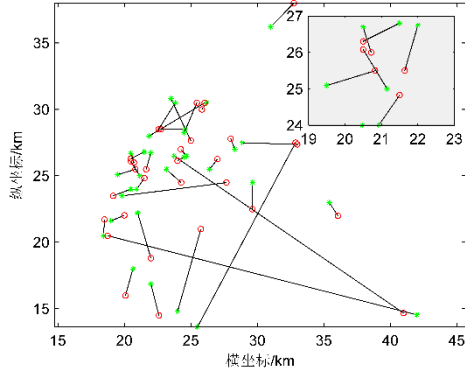


图 10 所有单乘乘客起点和终点坐标
及路线矢量

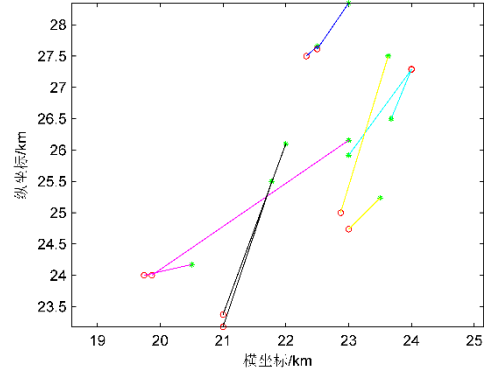


图 11 随机五组两人合乘乘客起点和终点坐标
及路线矢量

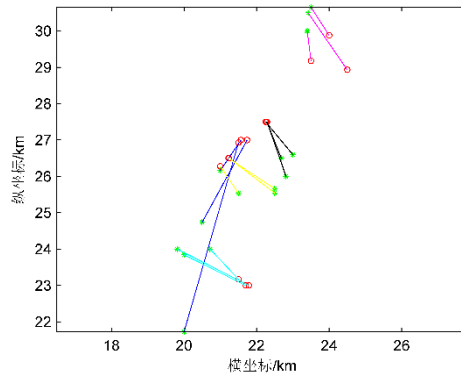


图 12 随机五组三人合乘乘客起点和终点坐标及路线矢量

图 10~图 12 中，红色的圆圈表示乘客的乘车地点，绿色的星号表示乘客的目的地，两点之间的连线表示该乘客的路线矢量，其中图 11 和图 12 中相同颜色的线表示该乘客与其他乘客合乘一辆出租车。从图 10 中可以发现，单乘的乘客之间乘车地点一般相差较远，或者路线之间的夹角较大；从图 11 和图 12 中可以发现，对于能够合乘的乘客，其乘车地点和路线方向都很接近，这也表明模型中的合乘策略和分类过程是合理准确的。

2.3.3 模型规律分析

根据模型建立过程可知，该模型有三个可变参数，乘车点之间的极限距离 Δd 、路线矢量之间的极限夹角 $\Delta\theta$ 和循环步长 ε_d ，为考查参数对模型结果的影响，本文采用单一变量法，分别分析各参数对模型结果的影响。以 2.3.1 节中仿真设置的参数 $\Delta\theta = 30^\circ, \varepsilon_d = 1\text{m}, \Delta d = 3\text{km}$ 为基准，分别将上述三个参数设置不同的数值，然后分别对乘客进行分类和分组。

(1) 改变极限距离 Δd 的值

分别设置 Δd 为 2km 和 4km，运行程序得到分组结果(见附件 *Condition_2.mat* 和 *Condition_3.mat*)，结合 $\Delta d = 3\text{km}$ 的结果，汇总到下表中。

表 3 改变极限距离的分类结果对比

Δd (km)	单乘/组	两人合乘/组	三人合乘/组	所需车数/辆
2	42	368	74	484
3	32	373	74	479
4	26	376	74	476

从上表中可以看出，当减小极限距离时，单乘的数量增加，两人合乘的组数减小了，而三人合乘的组数没有变化；当增大极限距离时，单乘的数量减少，两人合乘的组数增大了，而三人合乘的组数没有变化。分析可知，当合乘条件变苛刻（减小 Δd ）时，导致能够合乘的乘客数量减少，相反单乘数量势必会相应增加，而总的需求车辆数（单乘、两人合乘和三人合乘组数之和）也会增加，当合乘条件变宽松（增大 Δd ）时则情况相反。但是，从最后一列的所需车辆数来看，其相互之间的差别不超过 10 辆，说明该参数虽然对分组情况有较大影响，但对最终的所需车辆数目的影响较小。

（2）改变极限夹角 $\Delta\theta$ 的值

分别设置 $\Delta\theta$ 为 20° 和 40° ，运行程序得到分组结果（见附件 *Condition_4.mat* 和 *Condition_5.mat*），结合 $\Delta\theta = 30^\circ$ 的结果，汇总到下表中。

表 4 改变极限夹角的分类结果对比

$\Delta\theta (^\circ)$	单乘/组	两人合乘/组	三人合乘/组	所需车数/辆
20	36	392	60	488
30	32	373	74	479
40	23	367	81	471

从上表中可以看出，当减小极限夹角时，单乘和两人合乘的组数增加了，但两人合乘组数变化更加突出，而三人合乘的组数减小了；当增大极限夹角时，单乘和两人合乘的组数减少，但单乘数量变化更加突出，而三人合乘的组数增大了。分析可知，与改变极限距离 Δd 相似，当合乘条件变苛刻时，导致能够合乘的乘客数量减少，总的需求车辆数增加，当合乘条件变宽松时则情况相反。同样，所需车辆数差别不超过 10 辆，说明该参数虽然对分组情况有较大影响，但对最终的所需车辆数目的影响较小。

（3）改变循环 ε_d 的值

分别设置 ε_d 为 0.001m 和 0.01m，运行程序得到分组结果（见附件 *Condition_6.mat* 和 *Condition_7.mat*），结合 $\varepsilon_d = 0.005m$ 的结果，汇总到下表中。

表 5 改变极限距离的分类结果对比

ε_d (m)	单乘/组	两人合乘/组	三人合乘/组	所需车数/辆
0.001	39	374	71	484
0.005	32	373	74	479
0.01	45	374	69	488

从上表中可以看出，当减小循环步长时，单乘和两人合乘的组数增加了，而三人合乘的组数减小了，变化都不明显；当增大循环步长时，单乘和两人合乘的组数增加，但单乘数量变化更加突出，而三人合乘的组数减小了。但所需的车辆数变化均不大。

从上面三种情况分析可知，三个参数对乘客分类和分组有一定影响，当使合乘条件变得苛刻时，单乘的数量会增加，合乘的组数变化不大，当放宽合乘条件时，单乘的数量会减少，合乘的组数同样变化不大。总体上，参数变化对三类乘客组数之和也即所需出租车数量的影响很小，而且其总数量维持在 470~490 辆之间。

2.4 本章小结

本章中，按照乘客能否相互合乘一辆出租车，建立了乘客分类模型，将乘客分为单独乘坐、两人合乘和三人合乘一辆出租车三种类型。

在模型建立过程中，首先明确了乘客位置和乘车路线矢量两个参数，并基于这两个参数定义了乘客乘车点之间的距离和乘车路线矢量之间的夹角。然后给出了模型的合乘策略，即任意两名乘客的乘车点之间的距离和其路线矢量夹角均小于某一设定的值时，则认为该两名乘客能够合乘同一辆车；如果任意三名乘客中的每两人均满足合乘策略，则认为这三名乘客能够合乘同一辆车。接着，基于择优策略，将距离和夹角参数从零附近开始逐渐增加，也即将分类条件逐渐放宽，按照合乘策略对乘客进行分组，直至最后剩下无法满足合乘条件的单乘乘客。

为检验模型的有效性和准确性，以本题所给的乘客数据，根据自行编写的 MATLAB 程序，设置一组参数进行算例仿真。仿真结果表明，建立的模型能实现乘客分类，分类结果效果良好。利用单一变量法，分别检验模型参数对结果的影响，发现当在合理范围内改变参数使合乘条件变化时，单乘和合乘的数量会相应变化，但总的出租车需求量基本一致。

第三章 出租车分配策略

上一章中根据距离、乘车路线等条件对所有乘客进行了分组，下面对各组乘客进行出租车的分配。

3.1 假设条件

- (1) 出租车行驶速度恒定。
- (2) 出租车接到所有合乘乘客后，再向目的地出发。
- (3) 所有出租车服从系统分配，不存在抢客、拒载等情况。

3.2 模型建立

3.2.1 单组分配策略

对于单个合乘组（1，2 或 3 人），在不考虑与其他组冲突的情况下，可依据距离最近的原则挑选最佳出租车，以保证等待时间最短。具体算法如下：

(1) 搜索所有可用车辆，计算每辆车接到该组所有成员的最短距离。为表述方便，定义为“出租车到合乘组的距离”。以最复杂的三人合乘组为例，设组内乘客为（A, B, C），则车辆 T_i 接三位乘客共有 6 种方式： $T_i \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C$ ； $T_i \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow B$ ； $T_i \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow C$ ； $T_i \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ ； $T_i \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow B$ ； $T_i \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$ ，每种接客方式对应一个路程 $d_j (j=1, 2, \dots, 6)$ 。则出租车到合乘组的距离为：

$$D(i) = \min(d_j) \quad (3.1)$$

- (2) 找出距离合乘组最近的出租车，作为该组的最佳候选车辆。

3.2.2 多组分配策略

在乘客分布稠密的区域，不同合乘组距离较近，其最佳候选车辆很可能产生冲突。本文使用择优策略进行分配，即当一辆出租车成为不同合乘组的最佳候选车辆时，分配给距离最近的组，如表 6 及图 13 所示。

表 6 择优分配法示例

合乘组	1	2	3	4	5	6	7	...
最佳候选车辆	A	A	B	B	B	C	D	...
距离 (km)	0.5	0.2	1.5	0.3	0.02	0.1	0.07	...
分配	待定	A	待定	待定	B	C	D	...

最佳候选车辆无法满足每一组的分配需求时，需挑选出未分配车辆的合乘组及出租车，按同样的方式再次进行分配，直到所有乘客分配完毕，分配流程图如图 14 所示，具体实施步骤如下：

- (1) 选出待分配车辆的合乘组，记为 $\text{Group}=[g_1, g_2, \dots, g_n]$ ；
- (2) 计算合乘组的最佳候选车辆及相应距离：

$$\text{Texi}=[t_1, t_2, \dots, t_n], D=[d_1, d_2, \dots, d_n]$$

- (3) 按择优策略进行车辆分配，记录分配情况；
- (4) 更新待分配合乘组及可用车辆，转入步骤（1），直至所有组分配完毕。

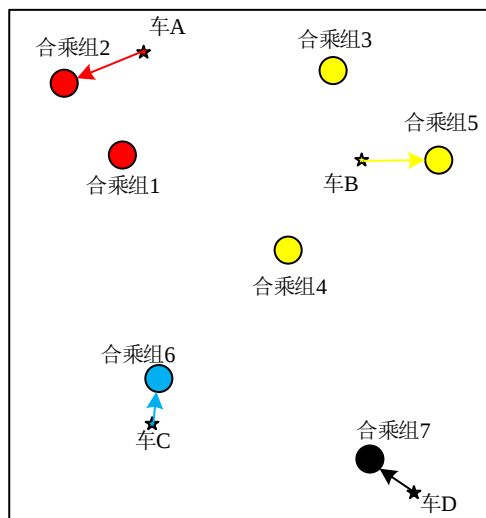


图 13 单轮择优分配策略

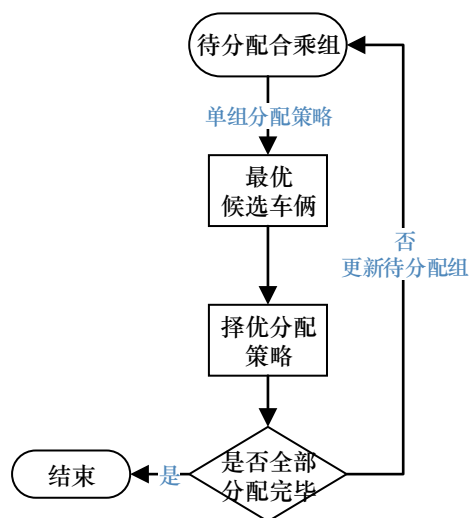


图 14 整体分配流程图

3.3 出租车分配算例分析

基于乘客分组结构给出一个车辆分配算例。采用的乘客分组情况为：单人组 39 个，双人组 374 个，三人组 71 个，共 484 组，需要 484 辆车。

直接给出分组结果，需 6 轮分配，每轮分配选出的出租车数（合乘组数）如表 7 所示。可见，每一轮都采用择优策略，在前三轮即可完成对绝大部分合乘组的分配。

表 7 出租车各轮分配数

分配轮次	1	2	3	4	5	6
新分配数目	361	81	31	7	3	1
累计分配数目	361	442	473	480	483	484
剩余合乘组	123	42	11	4	1	0

为验证分配结果的合理性，给出所有被分配的出租车编号以及到合乘组的距离，如图 15 所示。

可见，绝大多数的出租车接到对应合乘组所有乘客的距离都在 1 公里以内，这是由于出租车数量比需求多出 183 辆，能够满足乘客需求。对于少数位置处于偏远地带的乘客/合乘组，也能分配合适的出租车，将接客距离限制在 6km 以内。

随机选择 7 组车辆分配结果画出位置信息，如图 16 所示。另外，挑选出距离大于 2.7km 的组合（6 组）单独作图，如图 17 所示。

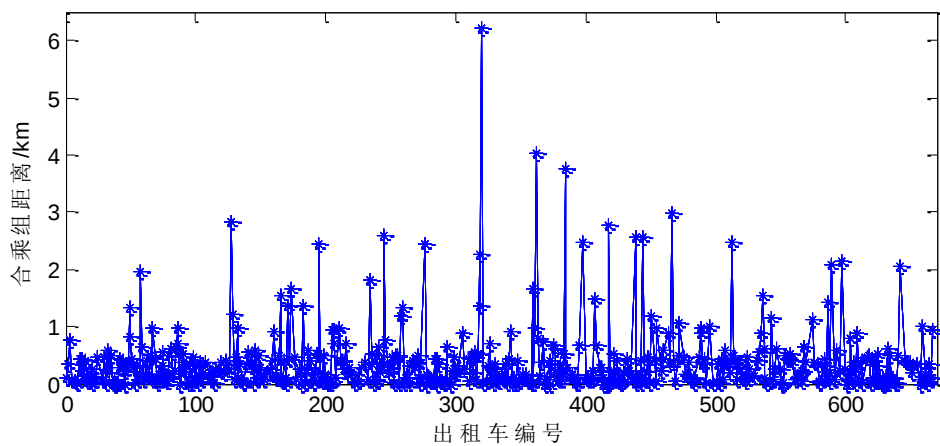


图 15 出租车到各合乘组距离

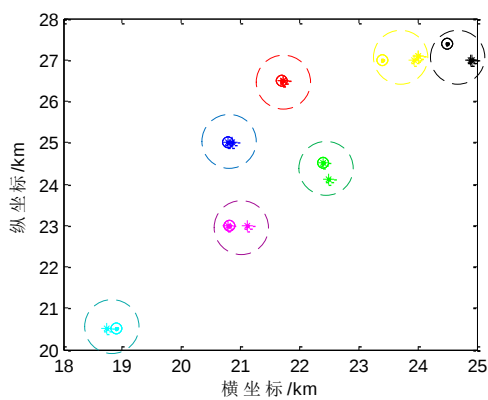


图 16 合乘组及分配车辆位置图

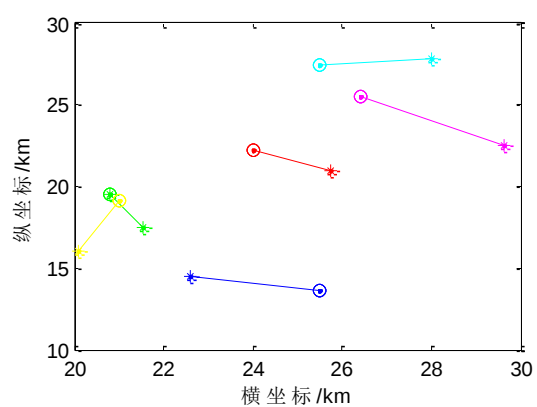


图 17 偏远乘客及分配车辆示意图

在位置图中，“○”表示出租车，同颜色的“*”表示相应乘客。可见，分配后大多数出租车距离乘客很近，能够很快完成接客。对于位置偏远的乘客，一般不会与他人合乘，寻找与之最近的出租车即可。

3.4 改进的多组分配策略

3.4.1 全局最优分配策略

在 3.2.2 节多组分配策略中，对最佳候选车辆冲突的情况采用了择优分配的方法。事实上，这种方法类似于“贪婪策略”，只能保证每一轮分配的局部最优。择优分配策略易于实现，计算效率高，但有可能达不到全局最优分配的效果。针对这个问题，本文提出一种改进的多组分配策略，在最佳候选车辆冲突时不进行分配，在各自选出第二候选车辆后统一分配，称为“全局分配法”，以表 8 为例。

表 8 全局分配法示例

合乘组	1	2	3	4	5	6	7	8	...
最佳候选车辆	A	A	B	B	B	G	G	G	...
第二候选车辆	C	D	E	E	F	H	H	H	...
第三候选车辆	-	-	-	-	-	I	J	J	...

对于冲突两次的车辆 A(合乘组 1,2), 需在剩余出租车 (除去已分配和最佳候选车辆) 中选出距离两合乘组最近的车辆, 记为 “第二候选车辆”。此时, 有两种分配方法可供选择: (1-A, 2-D)或(1-C, 2-A)。计算两种方式中接客的总距离, 选出距离较短的方案, 即可完成 1、2 合乘组的分配。对于冲突三次的车辆, 在第二候选车辆不完全相同时 (车辆 B, 合乘组 3,4,5), 同样可依据距离最短原则选出最佳分配方案。而当第二候选车辆完全相同时 (车辆 G, 合乘组 6,7,8), 由于可分配车辆数小于 3, 需挑选第三候选车辆, 使用相似的方法进行分配。

相比于择优分配法, 全局分配法每轮分配的组数较少, 但是能够保证得到全局的最优解, 其流程图如图 18 所示。

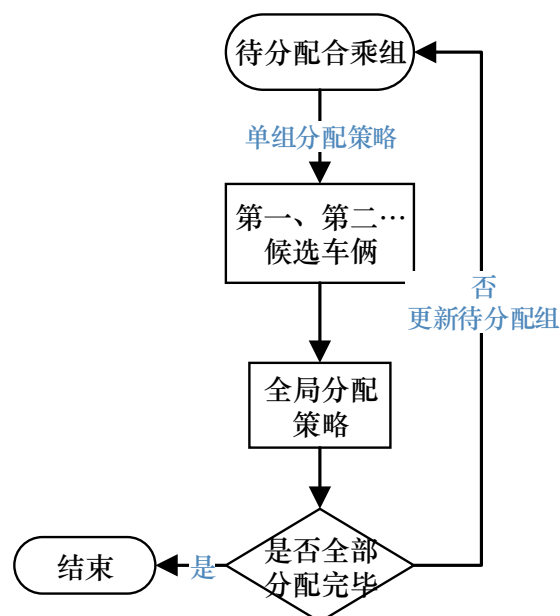


图 18 全局最优分配流程图

3.4.2 全局最优分配算例

为便于对比, 采用与 3.3 节相同的乘客分组, 使用改进的分配方法进行计算。对比被分配的出租车编号以及到合乘组的距离结果, 如图 19 和图 20 所示。

由图可知, 整体上看, 采用全局最优分配策略的分组结果与择优分配策略是基本相同的, 只有个别合乘组的分配结果发生了改变。其原因在于, 产生冲突的合乘组在空间距离上必然是接近的, 且出租车数量很多, 因此对他们进行详细的 “优化” 分配效果并不很明显。

从计算效率上看, 全局分配策略的运算量和复杂度要比择优策略大得多。综上所述, 采用择优分配策略进行车辆分配是最合理的。

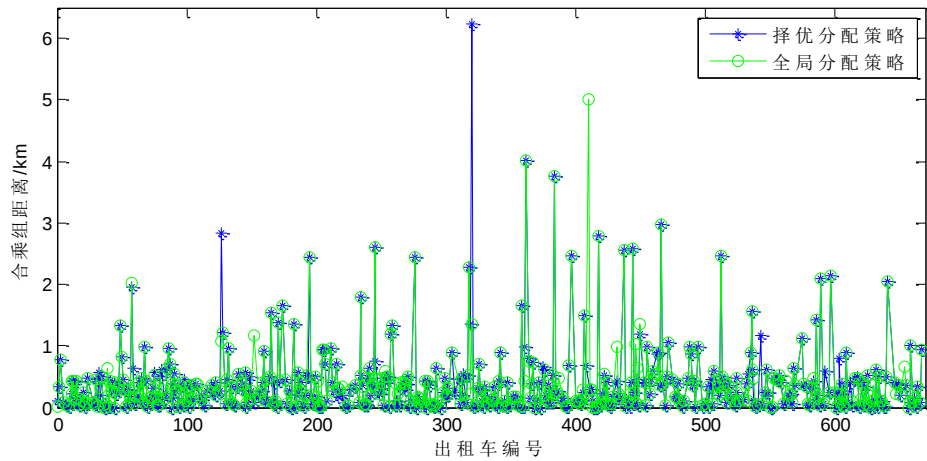


图 19 出租车到合乘组距离对比图

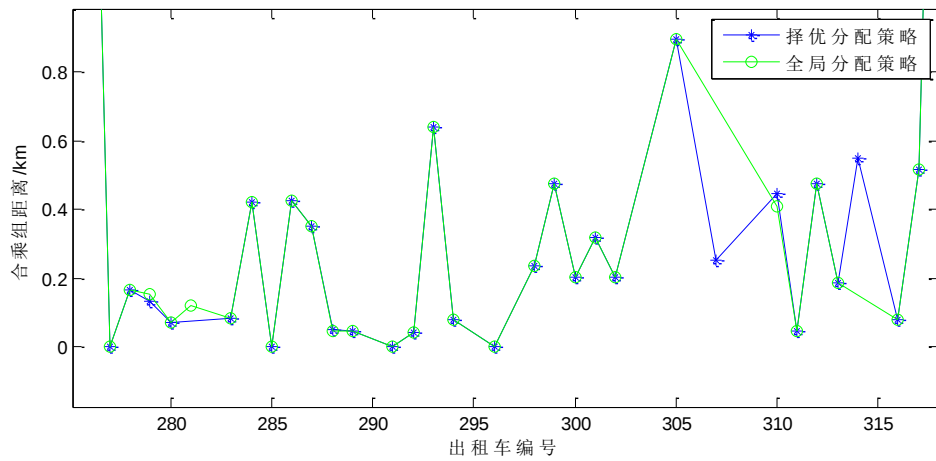


图 20 出租车到合乘组距离对比图（局部放大）

3.5 乘客分组结果验证

在第二章中，通过设置不同的配对条件，给出了 7 组不同的分组结果。乘客分组确定后，车辆分配也随之确定；反之，通过车辆分配结果可以判断乘客分组的差异性。2.3.3 节分析了改变路线矢量夹角、乘车点距离和循环步长三个条件对分组结果的影响，这里给出相应的出租车分配情况，如图 21~图 23 所示。

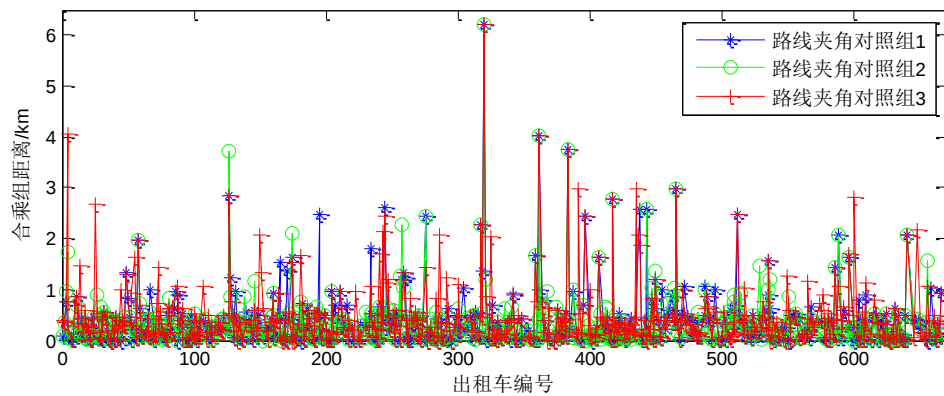


图 21 改变路线矢量夹角分组结果

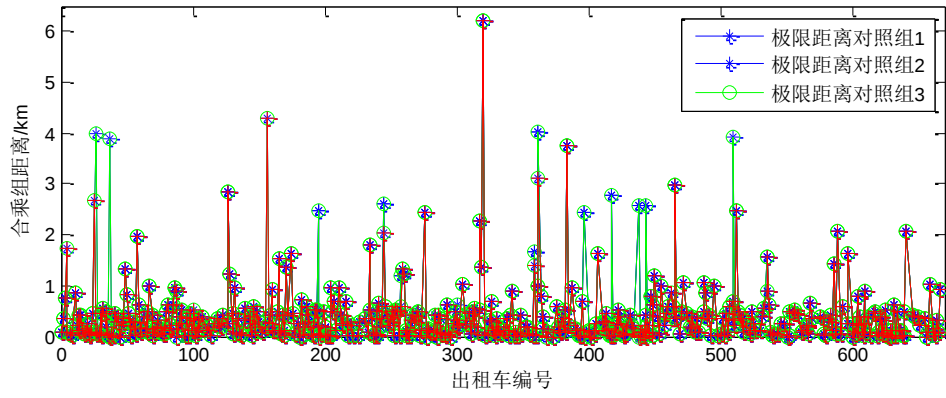


图 22 改变极限距离分组结果

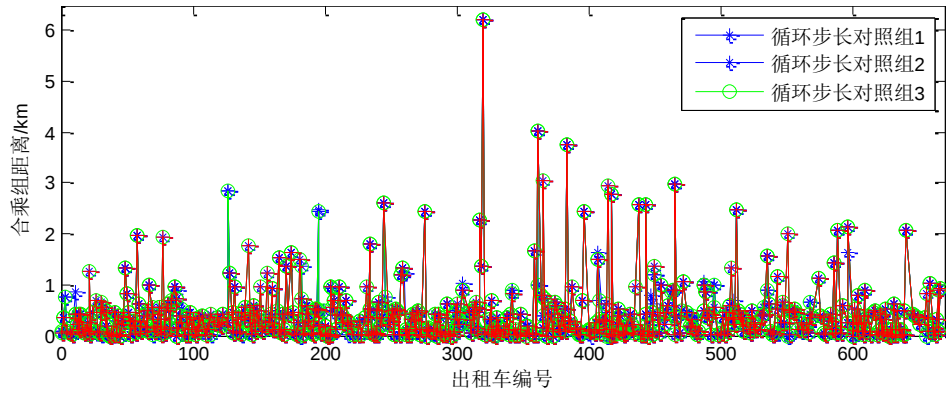


图 23 改变循环步长夹角分组结果

分析对照结果的差异性，可见图 21 中三组分配结果差异最大，其次是图 22，而图 23 中三条曲线基本重合。从而得出结论：在乘客分组方法中，改变路线矢量夹角对分组结果影响最大，极限距离次之，而循环步长对分组结果影响较小。

3.6 本章小结

在乘客分组情况确定的情况下，依据接客时间最短原则，提出两种车辆分配策略：择优分配法和全局最优分配法。分析表明，两种方法得到的分配结果基本相同。从算法效率角度考虑，择优分配法更有优势。车辆分配结果证明本文提出的车辆分配策略能够有效找出距乘客最近的出租车，缩短乘客等待时间。另外，车辆分配结果间接验证了乘客分组结果的合理性。

第四章 计费模型

以时间最短为原则规划出租车接送乘客的行车路线，然后在常规出租车计费模式的基础上，引入合乘优惠系数，建立合乘模式下的计费模式，建立优惠系数的优化模型，并给出合乘模式下乘车费用的完整计算流程，最后进行不同合乘情况下计费模型的算例分析。

4.1 行车路线规划

本文假设出租车的行驶速度不变，则行车时间可以等效为行车距离。下面首先讨论路线规划的时间最短原则，然后在给定路线的条件下，讨论不同合乘条件下各项行车距离的计算。

根据题目“城市的路网为正方形网格”的假设，则从节点 $i(x_i, y_i)$ 到节点 $j(x_j, y_j)$ 的最短行车距离为：

$$\|L_{i,j}\| = |x_j - x_i| + |y_j - y_i| \quad (4.1)$$

4.1.1 路线规划原则

本文将出租车接送乘客分为两个阶段：一、出租车从自身位置（节点 0）出发，到最后一名乘客上车点（节点 n ）；二、出租车从节点 n 出发，到最后一名乘客的下车点（节点 $2n$ ）。出租车在两阶段可能走的路线及所需时间如下：

$$\begin{cases} L_{1j} = \sum_{i=1}^n L_{i-1,i} \\ t_{1j} = \sum_{i=1}^n \frac{\|L_{i-1,i}\|}{v_{i-1,i}} \end{cases}, j \in A_1 \quad (4.2)$$

$$\begin{cases} L_{2j} = \sum_{i=n+1}^{2n} L_{i-1,i} \\ t_{2j} = \sum_{i=n+1}^{2n} \frac{\|L_{i-1,i}\|}{v_{i-1,i}} \end{cases}, j \in A_2 \quad (4.3)$$

式中， A_1 和 A_2 分别为阶段一和阶段二所有可能的路线集合， t_1 为出租车按路线 L_1 接到所有乘客所需时间， t_2 为出租车按路线 L_2 送所有乘客到目的地所需时间， n 为一组乘客中乘客的总人数， $L_{i-1,i}$ 为从节点 $i-1$ 到节点 i 的行车路线， $v_{i-1,i}$ 为从节点 $i-1$ 到节点 i 的平均行车速度， $\|L_{i-1,i}\|$ 为路线 $L_{i-1,i}$ 的行车距离。

第二章对所有乘客进行了分组，存在三种分组情况：单乘、双乘和三乘；第三章根据乘客分组情况进行了出租车的分配，针对任一组乘客，约定出租车按照所有乘客等待总时间最短的原则，先将所有乘客接上车，按照所有乘客上车后到达目的地时间最短的原则，将所有乘客送到目的地，即：

$$[L_1, t_1] = \min_{j \in A_1} \{t_j\} \quad (4.4)$$

$$[L_2, t_2] = \min_{j \in A_2} \{t_j\} \quad (4.5)$$

式中， t_1 为出租车接到所有乘客所需最短时间， L_1 为对应行车路线， t_2 为出租车接到所有乘客后开始计时，将所有乘客送到各自目的地所需最短时间， L_2 为对应行车路线。

4.1.2 行车距离计算

在合乘模式下，设乘客 i 的行程为 l_i ，单乘条件下的行程为 l_{i0} ；合成模式下，司机的行程为 l_d ，出车收益为 p_d ，在此行程下接送单个乘客的出车收益为 p_{d0} 。下面分别对单乘、双乘和三乘的情况下行车距离的计算进行讨论。

(1) 单乘，以乘客 A 的单乘为例，行车路线如图 24 所示。

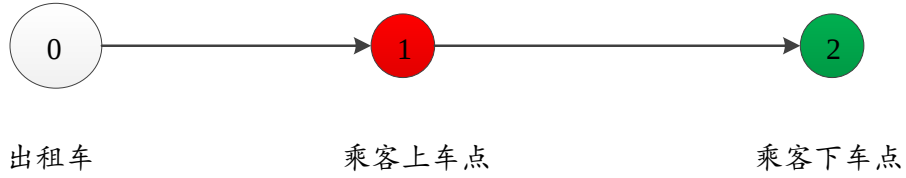


图 24 A 单乘示意图

图中，节点 0 为出租车的初始位置，节点 1 为乘客 A 的上车位置，2 为乘客 A 的下车位置，各行程距离的计算如下：

$$\begin{cases} l_d = L_{12} \\ l_A = L_{12} \\ l_{A0} = L_{13} \end{cases} \quad (4.6)$$

(2) 双乘，以乘客 A 和 B 的合乘为例，行车路线如图 25 所示。

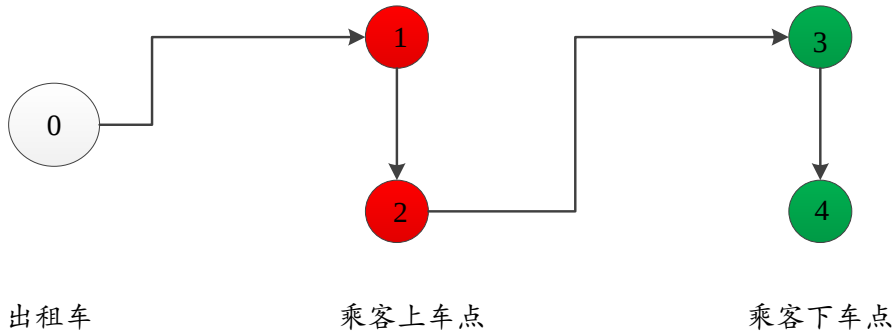


图 25 A 和 B 合乘示意图

图中，节点 0 为出租车的初始位置，节点 1 和节点 2 分别为乘客 A 和 B 的上车位置，3 和 4 分别为乘客 A 和 B 的下车位置，各行程距离的计算如下：

$$\begin{cases} l_d = L_{12} + L_{23} + L_{34} \\ l_A = L_{12} + L_{23} \\ l_B = L_{23} + L_{34} \\ l_{A0} = L_{13} \\ l_{B0} = L_{24} \end{cases} \quad (4.7)$$

(3) 三乘，以乘客 A、B 和 C 的合乘为例，行车路线如图 26 所示。

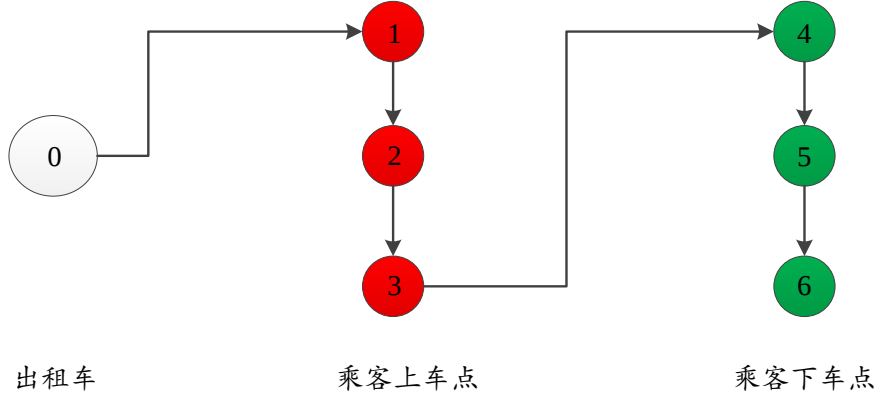


图 26 A、B 和 C 合乘示意图

图中，节点 0 为出租车的初始位置，节点 1、节点 2 和节点 3 分别为乘客 A、B 和 C 的上车位置，4、5 和 6 分别为乘客 A、B 和 C 的下车位置，各行程距离的计算如下：

$$\begin{cases} l_d = L_{12} + L_{23} + L_{34} + L_{45} + L_{56} \\ l_A = L_{12} + L_{23} + L_{34} , \quad l_{A0} = L_{14} \\ l_B = L_{23} + L_{34} + L_{45} , \quad l_{B0} = L_{25} \\ l_C = L_{34} + L_{45} + L_{56} , \quad l_{C0} = L_{36} \end{cases} \quad (4.8)$$

4.2 计费模型

在合乘模式下，设乘客 i 的乘车费用为 p_i ，单乘模式下的乘车费用为 p_{i0} ；合乘模式下，司机的出车收益为 p_d ，在此行程下接送单个乘客的出车收益为 p_{d0} 。

4.2.1 计费模式

在常规的出租车计费模式的基础上，引入合乘模式下的优惠系数，则前述各种费用按下列各式进行计算：

$$p_i(k_i) = k_i \begin{cases} p_0 & l_i < l_0 \\ p_0 + p_1 \cdot ([l_i] - l_0) & l_i \geq l_0 \end{cases} \quad (4.9)$$

$$p_{i0} = \begin{cases} p_0 & l_{i0} < l_0 \\ p_0 + p_1 \cdot ([l_{i0}] - l_0) & l_{i0} \geq l_0 \end{cases} \quad (4.10)$$

$$p_d(k) = \sum_{i=1}^n p_i(k_i) \quad (4.11)$$

$$p_{d0} = \begin{cases} p_0 & l_d < l_0 \\ p_0 + p_1 \cdot ([l_d] - l_0) & l_d \geq l_0 \end{cases} \quad (4.12)$$

式中, l_0 为起步距离, p_0 为起步价, p_1 为每公里车费, k_i 为合乘条件下乘客 i 的优惠系数, $\mathbf{k} = [k_1, k_2, \dots, k_n]$, n 为乘客数量, $[l]$ 表示取比 l 大的最近的整数。

4.2.2 优化模型

优化变量: 合乘模式下的各乘客的优惠系数 k_i , $i=1,2,\dots,n$

约束条件: 为保证乘客和司机的利益, 必须如下合乘的基本条件:

$$\begin{cases} p_i(k_i) \leq p_{i0}, i=1,2,\dots,n \\ p_d(\mathbf{k}) \geq \max_{i \in \{1,2,\dots,n\}} \{p_i\} \end{cases} \quad (4.13)$$

第一式表示, 乘客合乘条件下的费用不能超出单乘条件下的费用; 第二式表示, 出租车司机在合乘条件下的收益, 不能低于仅接送合乘乘客中任一个的收益。

由第一式可以得到合乘优惠系数的上限, 即:

$$k_{i\max} = \frac{p_{i0}}{p_i(1)} \quad (4.14)$$

第二式无法直接转化到优惠系数的取值范围, 在目标函数中通过罚函数的形式对其进行约束, 即

$$J_f = e^{10(1-x(k))}, x(\mathbf{k}) = \frac{p_d(\mathbf{k})}{\max_{i \in \{1,2,\dots,n\}} \{p_{i0}\}} \quad (4.15)$$

式中, e 为自然对数, 上述罚函数的趋势如图 27 所示, 曲线光滑过渡, 对不满足约束条件的惩罚明显, 有利于优化时快速收敛并得到较好的结果。

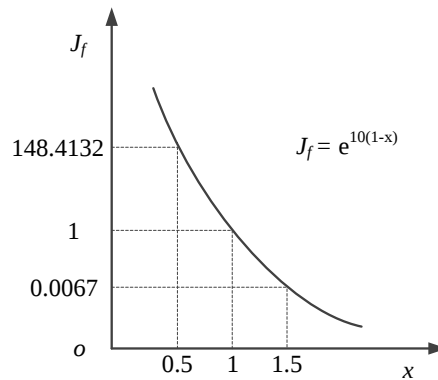


图 27 罚函数示意图

目标函数: 针对上述提出的计费模型, 分别从乘客和出租车司机的角度出发, 可以得到如下评估准则:

- (1) 对乘客来说, 合乘费用与单乘费用的比值越小越好

$$J_1(\mathbf{k}) = \sum_{i=1}^n \frac{p_i(k_i)}{p_{i0}} \quad (4.16)$$

(2) 对乘客来说，考虑到可能会存在绕路的情况，通过优惠系数进行补偿，则各乘客的绕路比与优惠系数乘积的方差越小越好

$$J_2(\mathbf{k}) = \text{cov}\left(\frac{l_i}{l_{i0}} k_i\right), i=1,2,\dots,n \quad (4.17)$$

(3) 对出租车司机来说，合乘收益与单乘费用比值越大越好，取倒数则为越小越好

$$J_3(\mathbf{k}) = \frac{p_{d0}}{p_d(\mathbf{k})} \quad (4.18)$$

对上述评估指标进行加权求和，即得到优化模型的目标函数为：

$$J(\mathbf{k}) = \text{sum}(x_i \cdot J_i(\mathbf{k}) + J_f), i=1,2,3$$

式中， x_i 为第 i 个规避指标所占的权重，并有 $\text{sum}(x_i) = 1$ 。

优化模型：针对计费模型中优惠系数 k 的优化模型可描述为：

$$\begin{aligned} \min_{k_i \in R^+} \quad & J(\mathbf{k}) \\ \text{st.} \quad & 0 < k \leq \min_{i \in \{1,2,\dots,n\}} \left\{ \frac{p_{i0}}{p_i(1)} \right\} \end{aligned} \quad (4.19)$$

优化算法：差分进化算法

4.2.3 计费模型

根据前述讨论的结果，对给定的合乘乘客及出租车，由相关部门给出优化模型各目标函数的权重系数，即可动态生成合乘模式下的优惠系数，并给出各乘客的乘车费用，计算流程如图 28 所示。

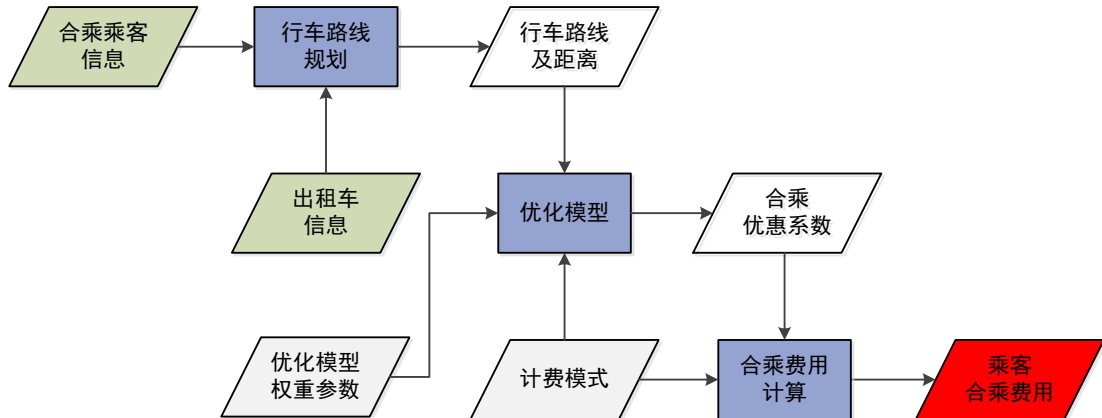


图 28 计费模型流程图

4.3 算例分析

以长沙市出租车白天的收费标准为例：2 公里内 8 元，2 公里以上 2.0 元/车公里，不足一公里按一公里计算。对于前两章得到的调度方案（包括乘客的合乘分组与每组分配的出租车信息），根据上述计费模型，可以快速得到每位乘客的乘车费用。对每种类型的合乘作一个算例，如表 9 所示，出租车及乘客均来自题目所提供的数据，考虑到第 86 个乘客的上车点和下车点重合，将其剔除，按照从前至后的顺序依次对出租车和乘客进行编号。给定三个目标函数的权重系数依次为 0.4、0.2 和 0.4。

表 9 合乘算例

算例编号	出租车编号	乘客编号	合乘类别
1	466	71	单乘
2	432	4 和 269	双乘
3	359	244、398 和 598	三乘

(1) 单乘

对案例 1，单乘情况下，行车路线唯一，取合乘优惠系数 $k = 1$ 即可，这里不作过多描述。

(2) 双乘

对案例 2，出租车的行车路线如图 29 示，计算结果如表 10 所示，表中距离的单位为公里，费用的单位为元，下标 A 表示乘客 4，下标 B 表示乘客 269。

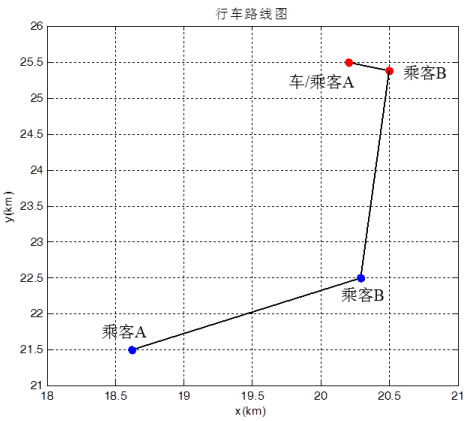


图 29 双乘算例行车路线图

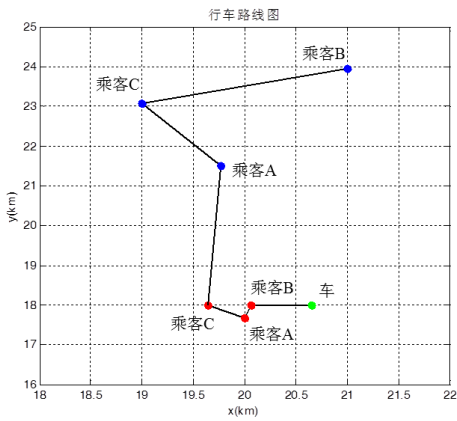


图 30 三乘算例行车示意图

表 10 双乘算例计算结果

J	k_A	k_B	p_d	p_{d0}
0.9702	0.8173	0.6158	22.1014	18.00
l_A	l_B	p_A	p_B	
6.1757	3.0820	14.7122	7.3892	
l_{A0}	l_{B0}	p_{A0}	p_{B0}	
5.5861	3.0820	16.00	12.00	

(3) 三乘

对案例 3，出租车的行车路线如图 30 所示，计算结果如表 11 所示，表中距离的单位为公里，费用的单位为元，下标 A 表示乘客 244，下标 B 表示乘客 398，下标 C 表示乘客 598。

表 11 三乘算例计算结果

J	k_A	k_B	k_C	p_d	p_{d0}
1.0187	0.2877	0.5382	0.5185	25.2408	24.00
l_A	l_B	l_C	p_A	p_B	p_C
4.3061	9.8974	5.9554	13.3	8.2	9.2
l_{A0}	l_{B0}	l_{C0}	p_{A0}	p_{B0}	p_{C0}
4.0573	6.8896	5.7066	14.00	18.00	16.00

通过上述算例可以看出，一方面，合乘模式下乘客的乘车费用比单乘模式下乘车费用低，出租车司机的收益比单乘模式下的出车收益高，即出现乘客与出租车在费用上的双赢；另一方面，合乘模式下部分乘客的行车距离相对其单乘的距离偏大，即出现绕路的情况，但在合乘优惠系数的调节下，绕路越远的乘客，乘车费用的补偿越多。

从而说明本文的乘客合乘分组、出租车分配及计费模型是合理的，可以减少乘客的乘车费用，并提高出租车司机的收入，大大提高了出租车的利用效率，减少了资源浪费。

4.4 本章小结

(1) 首先基于城市道路网格化的假设，给出行车距离的定义，并假设出租车的行驶速度保持不变，将行车时间等效为行车距离；

(2) 在已有调度方案的基础上，将出租车接送乘客分为接和送两个阶段，每个阶段均基于时间最短原则，规划出行车路线，并计算各项行车距离；

(3) 在常规计费模式的基础上，引入合乘模式下的优惠系数，分别从乘客和出租车司机的角度出发，提出三个目标函数，建立优惠系数的优化模型，并采用差分进化算法进行求解，并给出合乘模式下乘车费用的计算流程；

(4) 基于本章提出的计费模型，根据题目提供的乘客需求及出租车数据，进行了各种合乘模式下的算例分析，并批量计算出前两章提供的调度方案中各乘客的乘车费用，在最后的結果中乘客编号大于 85 的，在其编号基础上加 1，以恢复乘客原有的编号，与原始数据保持一致，见附件 carcost.txts。

第五章 总结与展望

本文基于乘客需求及出租车位置信息，设计了一整套合乘业务方案。将合乘调度问题分解为乘客分组、出租车分配、路线选择及计费三个独立模块，分别进行研究。

对乘客分组问题，按照距离接近、路线方向相似的原则，建立了乘客分类模型。在乘客分组情况确定的情况下，依据接客时间最短原则，设计了车辆分配策略。在乘客分组和出租车分配方案确定的情况下，将出租车接送乘客分为接和送两个阶段，每个阶段均基于时间最短原则，规划最佳行车路线，建立了计费模型，并采用差分进化算法进行优惠系数的优化。通过算例仿真，验证了模型的正确性。

本文设计的合乘业务方案具有以下优点：

- （1）功能模块化。乘客分组模块、出租车分配模块、计费模块相互独立，自成一体，降低了系统实现的复杂度。
- （2）程序通用性强。三个模块的设计参数可以灵活调整，实现不同的调度方式及计费方式。

本文模型也存在一些缺点和有待改进的地方：

- （1）本文在乘客分组策略中，未对三人合乘的条件进行细致的设计和结果筛选，可能导致其中两人路线偏离较大的情况。由于乘客分组结果直接关系到合乘调度效率，有必要对乘客分组方式进行进一步细化。
- （2）车辆分配和路线规划均基于总路线最短策略，并未考虑乘客的个性化需求。站在乘客角度进行调度，才能使乘客接受合乘的出行方式。

综上所述，本文给出了合乘业务系统的完整解决方案，能够在乘客及出租车信息已知条件下的进行合理调度，降低乘客出行成本，提高司机收入，提高城市出租车运营效率。

参考文献

- [1] Ferguson E. The rise and fall of the American carpool:1970-1990[J]. Transportation, 1997, 24(4): 349-376.
- [2] Dailey D J, Loseff D, Meyers D. Seattle smart traveler Dynamic ridematching on the World Wide Web[J]. Transportation Research Part C, 1999, 7(1): 17-32.
- [3] Buliung R N, Soltys K, Bui R, et al. Catching a ride on the information super-highway: Toward an understanding of internet-based carpool formation and use[J]. Transportation, 2010, 37(6): 849-873.
- [4] Parragh S N. Introducing heterogeneous users and vehicles into models and algorithms for the dial-problem[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2011, 19(5): 912-930.
- [5] Hame L. An adaptive insertion algorithm for the single-vehicle dial-a-ride problem with narrow time windows[J]. European Journal of Operational Research, 2011, 209(1): 11-22.
- [6] 吴芳, 李志成, 徐琛. 出租车合乘制调度优化模型研究[J]. 兰州交通大学学报, 2009, 28(1):104-107.
- [7] 周和平, 钟璧樯, 彭霞花等. 出租车合乘路径选择与费率优化模型[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2011, 8(1): 20-24.
- [8] 张薇, 何瑞春, 肖强等. 出租车合乘定价多目标优化研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2015, 39(6): 1105-1109.
- [9] 谭运梅, 王玲玲, 郝忠娜. 出租车动态合乘的探讨[J]. 广西工学院学报, 2008, 19(4): 14-17.
- [10] 罗超, 韩直, 乔晓青. 城市出租车合乘技术研究[J]. 交通运输工程与信息学报, 2014, 12(1): 79-86.
- [11] 张瑾, 何瑞春. 解决动态出租车拼车问题的模拟退火算法[J]. 兰州交通大学学报, 2008, 27(3): 85-88.
- [12] 王万良, 黄海鹏, 赵燕伟等. 基于车辆共享的软时间窗动态需求车辆路径问题[J]. 计算机集成制造系统, 2011, 17(5): 1056-1063.
- [13] 李琳, 陈寿元, 邵增珍. 单亲遗传算法在物流合乘优化中的应用[J]. 山东科学, 2014, 27(2): 93-97.
- [14] 祝延军, 胡纯德, 高随祥. 单亲进化遗传算法在配送中心选址中的应用[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(3): 580-662.
- [15] 戴更新, 于龙振, 陈常菊. 基于混合遗传算法的多配送中心选址问题研究[J].

- 物流技术, 2006, (6): 38-42.
- [16] 戴更新, 于龙振, 陈常菊. 基于混合遗传算法的多配送中心选址问题研究[J]. 物流技术, 2006(6) : 38-42.
- [17] 姜大立, 杨西龙, 杜文等. 车辆路径问题的遗传算法研究[J]. 系统工程理论与实践, 1999, 19(2) : 40-45.
- [18] 徐宗本, 高勇. 遗传算法过早收敛现象的特征分析及其预防[J]. 中国科学(E 辑), 1996, 26(4) : 364-375.
- [19] 邵增珍, 王洪国, 刘弘等. 基于匹配度聚类算法的单车辆合乘问题[J]. 软件学报, 2012, 23(2) : 204-212.
- [20] 张楷波, 祝延军. 单亲进化遗传算法在多个配送中心选址中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(20) : 217-220.
- [21] 李茂军, 朱陶业, 童调生. 单亲遗传算法与传统遗传算法的比较研究[J]. 系统工程, 2001, 19(1) : 61-65.
- [22] 刘耀霞, 张爽. 出租车合乘[J]. 交通标准化, 2008, 178(6): 188-191.
- [23] 袁祥东, 施以勇. 运用价格杠杆促进出租车市场健康发展[J]. 中国物价, 2003(9): 42-43.