

机器学习驱动的智慧停车的运营与管理规划模型研究

张志成

辽宁师范大学数学学院, 辽宁 大连

收稿日期: 2025年6月28日; 录用日期: 2025年7月22日; 发布日期: 2025年7月30日

摘要

截止2020年底, 沈阳市民用汽车保有量达到了263.5万辆。人均汽车保有量位居全国第十。汽车保有量的增长给市民的出行带来了极大的便利, 但同时也给道路交通和停车带来了不少压力。近几年, 人们已将注意力放在了如何解决“停车难”和“乱停乱放”等问题上, 开始发展智慧停车。当前智慧停车的计费方式主要是移动视频采集车计费和人工计费两种。本文分析了视频采集车计费的收益和损失, 研究了停车收费路段中视频采集车和人工采集方式的选择和规划问题。针对问题一, 在仅考虑一个停车位的情况下, 计算移动采集车计费可能产生的计费收益或损失。在采集车采集的频率足够多的情况下, 会出现停车时间累积, 从而导致人工计费和视频采集车计费不同。在问题一中我们仅以一辆车的停放为例, 采用分析列举法后总结得出视频采集车计费方式在单次不超过30分钟, 且累次后超过30分钟情况下受益最大。针对问题二, 首先, 应用聚类分析的方法及pycharm中k-means聚类算法, 得到三类中心点类簇; 然后, 通过最短路径算法, 在同一类簇中进行坐标点的线路规划, 得到每一类中采集车实际规划道路; 最后, 根据每一类簇中的停车位数量, 以及道路情况给出视频采集车最优配置方案, 分别配置A类1辆、B类2辆、C类1辆, 共四辆视频采集车。针对问题三, 首先采用0-1规划模型, 根据采集车和人工对应的决策因子决定每个路段采用的采集方式; 然后, 将采集车与人工计费成本作比, 视频采集车与人工计费的人员数量作比, 对比两个比值, 得到应用视频采集车计费的路段。再次, 通过聚类分析及matlab, 绘制视频采集车行驶道路; 建立多目标线性规划模型, 筛选多种影响计费收益因素, 将时间和地区作为主要因素; 最后, 建立道路计费停车总收益的表达式, 并根据九种不同情况合并得出最优综合计费方案。

关键词

聚类分析法、K-Means聚类算法、0-1规划模型

Research on the Operation and Management Planning Model of Intelligent Parking Driven by Machine Learning

Zhicheng Zhang

Abstract

By the end of 2020, the number of civilian cars in Shenyang reached 2,635,000. The per capita car ownership ranked the 10th in the country. The growth of car ownership has brought great convenience to citizens' travel, but it has also brought considerable pressure to traffic and parking. In recent years, people have focused on solving problems such as "difficult parking" and "random parking", and have begun to develop smart parking. Currently, the charging methods for smart parking mainly include mobile video collection vehicle charging and manual charging. This paper analyzes the gains and losses of video collection vehicle charging, and studies the selection and planning of video collection vehicle and manual collection methods in parking charging sections. For problem one, when only considering one parking space, it calculates the possible charging gains or losses of the mobile collection vehicle. When the collection frequency of the collection vehicle is sufficient, parking time accumulation will occur, resulting in different charging methods between manual charging and video collection vehicle charging. In problem one, we only take the parking of one vehicle as an example, and after using the analysis and enumeration method, we summarize that the video collection vehicle charging method benefits the most when the single parking time does not exceed 30 minutes and the cumulative parking time exceeds 30 minutes. For problem two, first, the k-means clustering algorithm in pycharm is used to apply the clustering analysis method and obtain three types of center point clusters. Then, the shortest path algorithm is used to plan the route of the coordinate points within the same cluster, and the actual planned road of the collection vehicle in each cluster is obtained. Finally, based on the number of parking spaces in each cluster and the road conditions, the optimal configuration plan for the video collection vehicle is given, with one vehicle for class A, two for class B, and one for class C, totaling four video collection vehicles. For problem three, first, the 0-1 programming model is used, and the collection method for each section is determined based on the decision factors corresponding to the collection vehicle and manual charging. Then, the cost of video collection vehicle charging is compared with that of manual charging, and the number of personnel for video collection vehicle charging is compared with that of manual charging. By comparing the two ratios, the sections where video collection vehicle charging is applied are obtained. Next, through clustering analysis and matlab, the driving routes of the video collection vehicles are drawn. A multi-objective linear programming model is established, and multiple factors affecting the charging revenue are screened, with time and region as the main factors. Finally, the expression of the total charging revenue of the road parking is established, and the optimal comprehensive charging plan is obtained by combining nine different situations.

Keywords

Cluster Analysis Method, K-Means Clustering Algorithm, 0-1 Programming Model

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 问题重述

1.1. 问题背景

为了解决沈阳市“停车难”和“乱停乱放”等问题，开始发展智慧停车。当前智慧停车主要采用盘活

现有资源提供停车服务，停车位主要有二、三级马路路边停车位和充分利用路边闲置空间进行停车。当前停车计费的方式主要有移动视频采集车计费和人工计费两种。视频采集车计费方式是从第一次采集车牌的时间开始计时，到最后一次采集到该车牌的时间计时结束。如果系统只采集到一次车辆停放纪录，停车时长记为 0。人工采集车严格按照汽车停放时长来计费。

1.2. 具体问题

问题一：仅考虑一个停车位，计算视频采集车计费可能产生的可能计费收益和损失。由于这辆车停放时长、停放次数，产生不同的计费价格。同时由于视频采集车是围绕路段循环匀速行驶的，所以导致人工计费和视频采集车计费也会不同。

问题二：对于不同的停车位，车辆停放时长有不同的特点，比较典型的：居民住宅和工作单位附近，车辆可能停放时间较长；商业区附近，车辆停放时长居中；快餐店和农贸市场等附近，停车时长较短。根据附件 1 给出的收费路段与级别，对沈阳站 - 太原街区域，规划移动数据采集车的路线，并给出所需的车辆数。

问题三：仍然考虑问题二中的区域，给出在什么情况下，哪些路段采用人工收费更好。如果这些路段采用了人工收费，移动视频采集车的路线规划是否有变化，给出合理的规划方案。

2. 问题分析

2.1. 问题一的分析与对策

在仅考虑一个停车位的情况下，计算移动采集车计费可能产生的收益或损失。由于车型不同、每辆车停放次数、时间不同和此停车位是否有车停等诸多因素。故此处我们仅以一辆车的停放为例，假定采集车的频次足够多，即会出现停车时间累积，所以决定采用分析列举法得出各种情况可能产生的采集车的收益或损失。

2.2. 问题二的分析与对策

问题二要求我们给出沈阳站到太原街区域(西至胜利大街，东至南京街，北至五马路，南至八马路)具体的采集车路线以及所需的采集车辆。所以我们想通过地图上附件 1 的停车区域找到对应的停车路段，观察路段的分布，进而确定路段中心点坐标，故决定用 k-means 聚类算法，在实际地图上找到的路线进行划分，通过以点代路的方法，取道路的中点代表这条道路，得到 13 个数据点；通过聚类分析，观察哪些点能够落到一类，即意味着他们的距离最小，在每一类里进行线路规划，通过每一类里车位数的多少，来配置采集车的数量。

2.3. 问题三的分析与对策

第一小问，需要我们要给出哪些路段采用人工收费更好，即我们需要在人工收费和视频采集车计费两种方式中进行选择，于是我们想到了 0-1 规划模型，通过决策因子来决定每个路段是否采用采集车进行收费。之后比较数量与成本的关系，得到适合人工收费的路段和适合视频采集车计费的路段。对于第二小问，我们想到应用聚类分析法和 MATLAB 绘图来得到所需数据点的分布，再按照最短路径算法，得到视频采集车行驶路线。针对第三小问，我们将影响计费方案的多种因素纳入考虑当中，想通过建立多目标线性规划模型，列出道路停车收费总收益的表达式，从而得出综合计费方案[1]。

3. 基本假设

1) 视频采集车运行是循环匀速行驶，计费方式是从第一次采集车牌的时间开始计时，到最后一次采

集到该车牌的时间计时结束。如果系统只采集到一次车辆停放纪录，停车时长记为 0。

2) 问题一中的视频采集车收费的收益和损失情况，是与同样情况下人工收费的特点作对比。

3) 假设问题一中视频采集车就是从题里所给的一个停车位开始行驶的。

4) 假设问题二中每天每一辆车在附件 1 所给区域内只停放一次。假设问题三所有视频采集车的车辆均为双向道路行驶。

5) 假设第三分钟仍然可以通过视频采集车计费累积时间。

6) 假设问题三中影响计费方案的主要因素为停车区域以及停车时间。

4. 符号说明

Table 1. Symbol table
表 1. 符号表

符号	表示含义	符号	表示含义
t	停车时长(分钟)	n_{i1}	第 i 段路视频采集车数量
t_i	第 i 次停车时长(分钟)	n_{i2}	第 i 段路人工计费的人员数量
T	计费时长(分钟)	w_{i1}	第 i 段路视频采集车计费成本
t_M	达到最大限额钱数对应的计费时间(分钟)	w_{i2}	第 i 段路人工计费成本
M	达到最大限额钱数	a_{i1}	第 i 段路停车 $t < 30$ 的车的数量
n	停车次数	a_{i2}	第 i 段路停车 $30 < t < t_M$ 的车的数量
x	收费标准	a_{i3}	第 i 段路停车 $t > t_M$ 的车的数量
X_i	第 i 个对象 $1 \leq i \leq 26$	P_{i1}	第 i 段路视频采集车计费的盈利
C_j	第 j 个聚类中心 $1 \leq j \leq 6$	P_{i2}	第 i 段路人工计费的盈利
X_{it}	第 i 个对象的第 t 个属性 $1 \leq t \leq 3$	H_i	每一个路段每一天的停车数量
C_{jt}	第 j 个聚类中心的第 t 个属性	w_1	视频采集车车辆每天成本
C_l	第 l 个聚类的中心 $1 \leq l \leq k$	w_2	人工计费每天成本
$ S_l $	第 l 个类簇中对象的个数	u_{i1}	决策因子
X_i	第 l 个类簇中第 i 个对象 $1 \leq i \leq S_l $	u_{i2}	决策因子

5. 模型的建立与求解

5.1. 问题一模型的建立与求解

首先分析出影响采集车收益或损失的因素是停车时间问题，于是根据原题中给出的停车收费标准，对一辆车停放时间的几种可能性进行划分。

问题一思路图 1 如下：

然后将每一种情况中，视频采集车收费和人工收费的情况分别表示出来。视频采集车收费的收益和损失情况，是与同样情况下人工收费的特点作对比。即：每一种情况中，若视频采集车收费多于人工收费，差值为正，即为收益；若视频采集车收费少于人工收费，差值为负，即为损失。若这辆车的停车时间全部发生白天(7:00~19:00)，则有四种小情况；若在这辆车的停车时间越过过渡时间 19:00，即从白天到黑夜，则也会出现不同的情况(符号说明见表 1)。

以中(小)型车为例子(若为大型车，则计费为以下结果的 2 倍，若为新能源车，则计费为以下结果的一半)



Figure 1. Mind map of problem one's solution approach
图 1. 问题一思路导图

问题一的情况如表 2~5 所示:

(一) 情况(1)

Table 2. Situation (1) Table
表 2. 情况(1)表

每次停车 $t < 30$ 分钟	采集车收费	人工收费	差值	收益/损失
	0	0	0	无

情况(2)

Table 3. Situation (2) Table
表 3. 情况(2)表

一日多次停车 $t < 30$ 分钟 $nt > 30$	采集车收费	人工收费	差值	收益/损失
	$\sum_{i=1}^n t_i * x$	0	$\sum_{i=1}^n t_i * x$	收益

情况(3)

Table 4. Situation (3) Table
表 4. 情况(3)表

	计费时长	采集车收费	人工收费	差值	收益/亏损
每次停车 $30 < t < t_M$	$30 < T < t_M$	$T * x$	$\sum_{i=1}^n t_i * x$	0	不亏损 也不收益
	$T > t_M$	M	$\sum_{i=1}^n t_i * x$	小于 0	亏损

情况(4)

Table 5. Situation (4) Table
表 5. 情况(4)表

每次停车 $t > t_M$	采集车收费	人工收费	差值	收益/损失
	M	nM	$(1-n)M$	损失

(二) 若一辆车听放时长越过了 19:00 过度时间, 无论是视频采集车计费还是人工计费都下班, 停止工作。此时人工计费与上述四种情况相同; 视频采集车计费将上述的 n 变为 $n - 1$ 。

5.2. 问题二模型的建立与求解

参考沈阳市和平区实际地图归纳出其中各道路起止点地理坐标如表 6:

Table 6. Geographical coordinates of the road starting point

表 6. 道路起始点地理坐标

街名	起始地	起始地坐标	终止地	终止地坐标
南六马路	同泽南街	123.395738, 41.781254	太原南街	123.393475, 41.782209
南宁南街	南七马路	123.395614, 41.779084	南六马路	123.396876, 41.780805
民族南街	南八马路	123.388492, 41.779721	南五马路	123.392406, 41.784582
同泽南街	南八马路	123.393052, 41.777787	南五马路	123.397137, 41.78302
西安街	南五马路	123.393558, 41.784363	南八马路	123.389606, 41.779268
天津南街	南二马路	123.399505, 41.788205	南三马路	123.398133, 41.786423
南四马路	南宁南街	123.399076, 41.783772	民主南街	123.395708, 41.785315
同泽南街 83 号巷	南京南街	123.402418, 41.786232	同泽南街	123.400212, 41.78715
南三马路	太原南街	123.396882, 41.786889	昆明南街	123.393582, 41.78834
同泽南街	中华路	123.403113, 41.790985	南五马路	123.396929, 41.782931
北五马路	太原北街	123.407321, 41.800599	胜利北街	123.402869, 41.802458
民族北街	中华路	123.398513, 41.792969	北五马路	123.40507, 41.801484
北五马路平安巷	中山广场	123.410282, 41.797556	北五马路	123.410797, 41.799055

我们假设在只考虑沈阳站 - 太原街区域(西至胜利大街, 东至南京街, 北至北五马路(包括北五马路南侧), 南至南八马路)时, 由于所求区域较小, 故将此区域想象成平面, 不考虑地球半径的影响。以道路的中心来代表这条路, 得到道路中心坐标。

我们挑选出: 沈阳站 - 太原街区域(西至胜利大街, 东至南京街, 北至北五马路(包括北五马路南侧), 南至南八马路)的具体范围以及所包含的停车区域(考虑将每一条路化为一个点, 即以点代路)采用聚类分析的方法对停车点进行区域划分。

考虑到数据点的个数以及聚类分析后点的密集程度, 我们将所聚区域划分为 A 区域, B 区域, C 区域, 三个区域。针对上述分类进行 k-means 聚类算法[2]如下:

1) 给定数据样本 X , 包含了 13 个数据点, 此处假设对象都具有 3 个维度的属性(以车辆停放时间长短为依据)通过 Kmeans 算法将 13 个对象依据对象间的相似性聚集到指定的 3 个类簇中, 每个对象属于且仅属于一个其到类簇中心距离最小的类簇中。首先需要初始化 3 个聚类中心 $\{C_1, C_2, C_3\}$, 然后通过计算每一个对象到每一个聚类中心的欧式距离, 如下式所示

$$dis(X_i, C_j) = \sqrt{\sum_{t=1}^n (X_{it} - C_{jt})^2} \quad (1)$$

依次比较每一个对象到每一个聚类中心的距离, 将对象分配到距离最近的聚类中心的类簇中, 得到

3 个类簇 $\{S_1, S_2, S_3\}$ 。

所以, k-means 算法[3]用中心定义了类簇的原型, 类簇中心就是类簇内所有对象在各个维度的均值, 其计算公式如下:

$$C_i = \frac{\sum_{X_i \in S_i} X_i}{|S_i|} \quad (2)$$

以上所写公式的计算均可由 pycharm 运行(见附录)得到如下点集分布图 2:

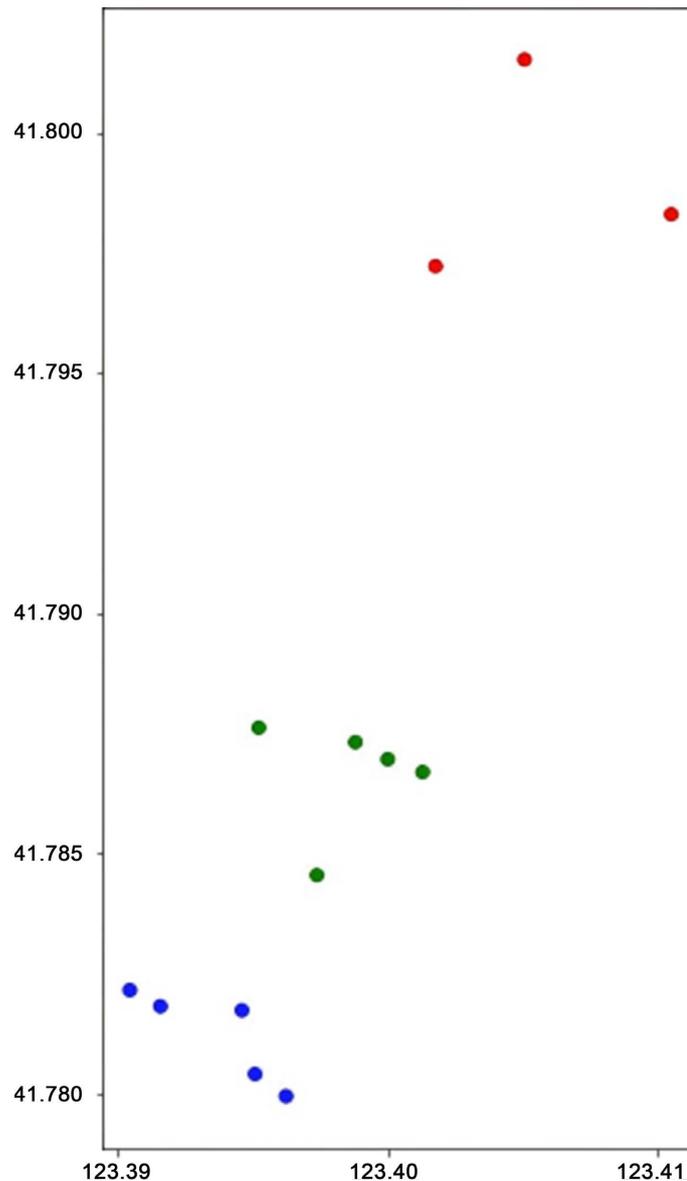


Figure 2. Scatter plot of road center point
图 2. 道路中心点散点图

结合实际地图可知, 3 个类簇所代表的是 3 个区域, 即 3 个属性, 即依据车辆停放时长划分。由此我们综合实际地图将一个类簇中的点连接起来得到如图 3 所示:

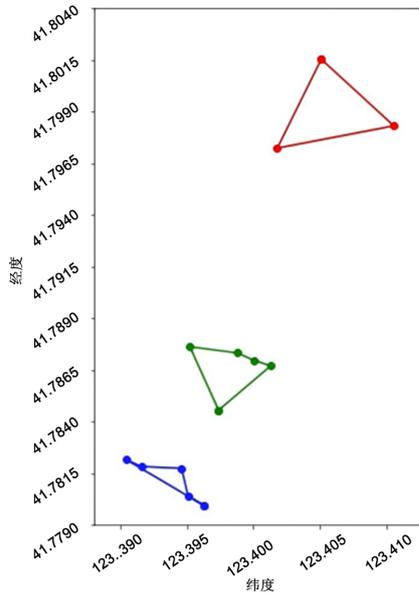


Figure 3. Theoretical diagram of the shortest route connecting the center point of the road
图 3. 道路中心点理论最短路线连接图

这样得到的每一个类簇中的点，也就是聚到一起的点即为一类，意味着他们的距离最小，在每一类里进行线路规划，得到线路规划如图 4：

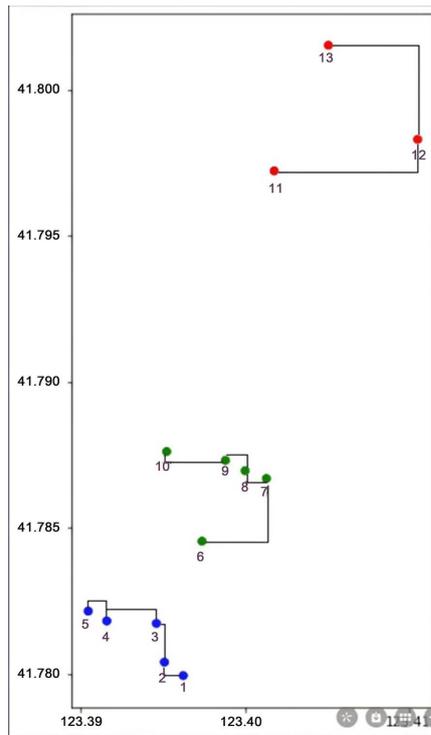


Figure 4. Actual shortest route connection diagram of the road center point
图 4. 道路中心点实际最短路线连接图

三种采集车的行走路线如下:

A类: 南七马路→同泽南街→南六马路→西安街→民族南街;

B类: 南四马路→庆阳路→同泽南街→天津南街→南三马路;

C类: 兰州北街→北五马路平安巷→北五马路。

Table 7. Information corresponding to three types of roads and collection vehicles
表 7. 三类道路及采集车对应信息

类型	总路程(km)	停车位数量(个)	采集车循环时间
A类	955	362个	3.8分钟
B类	1125	424个	4.5分钟
C类	935	352个	3.7分钟

根据表 7, 运用层次分析法得到最终配置车辆数:

A类中配置采集车的辆数: 1辆;

B类中配置采集车的辆数: 2辆;

C类中配置采集车的辆数: 1辆。

5.3. 问题三模型的建立与求解

5.3.1. 第一小问的建立与求解

我们采用了 0-1 规划模型[4]。通过采集车和人工对应的决策因子来决定每个路段采用采集车进行收费还是人工采集进行收费。参考问题二对应的区域共有 13 个路段。

设第 i 段路每一天的停车数量为 H_i /天 ($i=1,2,3,\dots,13$)

停车时间少于 30 分钟、大于 30 分钟但是小于最高收费所对应的时长、大于最高收费所对应时长的车的数量分别为 a_{i1}, a_{i2}, a_{i3} ($i=1,2,3,\dots,13$)。

令以上三种情况每辆车所带来的收益分别为 w_{i1}, w_{i2}, w_{i3} ($i=1,2,3,\dots,13$)。

视频采集车辆每天的成本为 $w_1 = \frac{\text{车辆费用} + \text{消耗的费用} + \text{其他费用}}{10 \times 365}$ /辆。

人工计费每天的成本为 w_2 /人, 在第 i 个路段的盈利为 P_i ($i=1,2,3,\dots,13$)。

1) 若在第 i 段路的采集车的数量为 n_{i1} , 则第 i 段路采集车收费的盈利为:

$$P_{i1} = \sum_{j=1}^3 w_{ij} a_{ij} - w_1 n_{i1}, \quad i=1,2,3,\dots,13 \quad (3)$$

2) 若在第 i 段路的人工采集的人员数量为 n_{i2} , 则第 i 段路人工采集收费的盈利为:

$$P_{i2} = \sum_{j=1}^3 w_{ij} a_{ij} - w_2 n_{i2}, \quad i=1,2,3,\dots,13 \quad (4)$$

以上 n_{i1} , n_{i2} 的确定可以为小数, 因为在日常生活中有很多路段只有一人服务。

则有

$$P_i = u_{i1} P_{i1} + u_{i2} P_{i2}, \quad i=1,2,3,\dots,13 \quad (5)$$

其中

$$u_{i1} + u_{i2} = 1 \quad (6)$$

u_{i1}, u_{i2} 只取 0 或 1。

将上述(4)式与(5)式进行相减得：

$$P_{i1} - P_{i2} = w_2 n_{i2} - w_1 n_{i1}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, 13 \quad (7)$$

当 $\frac{w_1}{w_2} = \frac{n_{i2}}{n_{i1}}$ 时, $P_{i1} = P_{i2}$, 在第 i 路段采用采集车收费和人工收费都可以。

当 $\frac{w_1}{w_2} > \frac{n_{i2}}{n_{i1}}$ 时, $P_{i1} < P_{i2}$, 在第 i 路段采用人工收费的收益更高。

当 $\frac{w_1}{w_2} < \frac{n_{i2}}{n_{i1}}$ 时, $P_{i1} > P_{i2}$, 在第 i 路段采用采集车收费的收益更高。

所以在②的情况下采用人工收费更好。

具体适合人工收费的路段点位为：4→5→8→9→10→12→13。

具体适合视频采集车计费的路段点位为：1→2→3→6→7→11。

5.3.2. 第二小问的建立与求解

采集车的路线规划有变化, 由上一小问知视频采集车的采集道路数据, 对数据分析如下: 采集车需要采集的道路有 6 条, 由于采集车自身车辆维持费的成本(油费、维修费), 故仅设 2 辆视频采集车计费。

再次应用问题二中的模型, 通过聚类分析, 结合所得数据, 用 matlab 绘图如图 5:

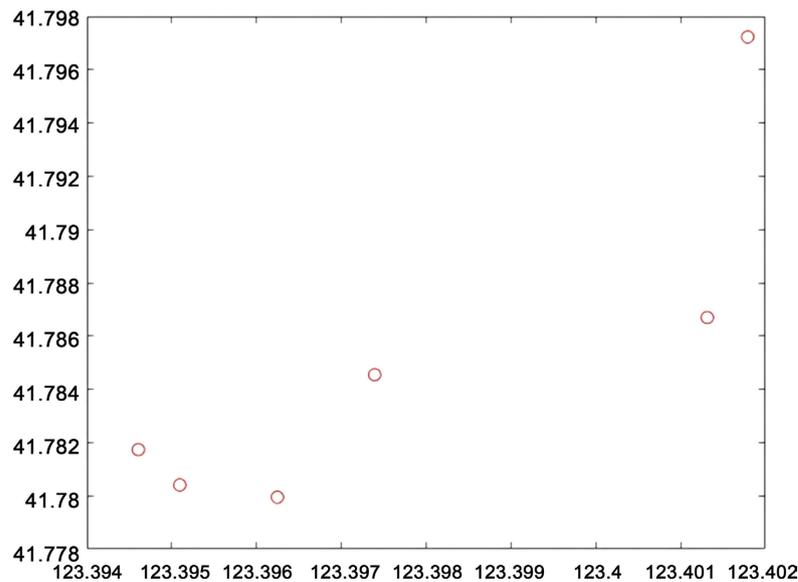


Figure 5. Scatter plot of the center point of the collection vehicle's travel path
图 5. 采集车行驶道路中心点散点图

通过参照第二问实际地图, 将图中点进行实际连接操作后, 得到视频采集车行驶道路: 南七马路→同泽南街→南六马路→南四马路→庆阳路→兰州北街。

5.3.3. 第三小问的建立与求解

考虑采集车收费的盈利与人工采集收费的盈利情况: 采集车的数量, 采集车每天的成本, 人员数量和人员每天的成本, 车辆维修费用, 等影响计费收益的因素, 构建多目标线性规划模型[5]进行解决。

建立多目标线性规划模型:

道路计费停车总收益为:

$$\max P_{\text{总}} = \sum_{i=1}^{13} (u_{i1}P_{i1} + u_{i2}P_{i2}) \quad (8)$$

决策因子关系为:

$$u_{i1} + u_{i2} = 1 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, 13) \quad (9)$$

其中, u_{i1}, u_{i2} 只取 0 或 1, $n_{i1} > 0$, $n_{i2} > 0$ 。

由第一问知:

$$P_{i1} = \sum_{j=1}^3 w_{ij}a_{ij} - w_1n_{i1}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, 13) \quad (10)$$

$$P_{i2} = \sum_{j=1}^3 w_{ij}a_{ij} - w_2n_{i2}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, 13) \quad (11)$$

方案一: 若路段属于一类地区, 则日收费标准 $x = 3$ 元/30 分钟

① 当日单次停车时间小于 30 分钟时, 通过将具体数值代入上述式子得到收益为零。

② 若当天多次停车由问题一知, 收益为 $\sum_{i=1}^n t_i * x * 2a_{i1}$ 。

③ 若包月则路段每月一辆车收费为 600 元/月。

方案二: 若路段属于一类地区, 则日收费标准 $x = 3$ 元/30 分钟

① 当日单次停车时间大于 30 分钟且不超过最高付费对应时长, 通过将具体数值代入上述式子得到收益为: $\left(Txu_{i1} + \sum_{i=1}^n t_i xu_{i2}\right) 2a_{i2}$ 。

② 若当天多次停车且累计停车时间超过最高付费对应时长得到的收益为: $\left(Mu_{i1} + \sum_{i=1}^n t_i xu_{i2}\right) 2a_{i2}$ 。

③ 若包月则路段每月一辆车收费为 600 元/月。

方案三: 若路段属于一类地区, 则日收费标准 $x = 3$ 元/30 分钟

① 当日单次停车时间大于最高付费对应时长, 通过将具体数值代入上述式子得到收益为: $(Mu_{i1} + nMu_{i2}) 2a_{i3}$ 。

② 若包月则路段每月一辆车收费为 600 元/月。

方案四: 若路段属于二类地区, 则日收费标准 $x = 2$ 元/30 分钟

① 当日单次停车时间小于 30 分钟时, 通过将具体数值代入上述式子得到收益为零。

② 若当天多次停车由问题一知, 收益为 $\sum_{i=1}^n t_i * x * 2a_{i1}$ 。

③ 若包月则路段每月一辆车收费为 400 元/月。

方案五: 若路段属于二类地区, 则日收费标准 $x = 2$ 元/30 分钟

① 停车时间大于 30 分钟且不超过最高付费对应时长, 通过将具体数值代入上述式子得到收益为: $\left(Txu_{i1} + \sum_{i=1}^n t_i xu_{i2}\right) 2a_{i2}$ 。

② 若当天多次停车且累计停车时间超过最高付费对应时长得到的收益为: $\left(Mu_{i1} + \sum_{i=1}^n t_i xu_{i2}\right) 2a_{i2}$ 。

③ 若包月则路段每月一辆车收费为 400 元/月。

方案六：若路段属于二类地区，则日收费标准 $x = 2$ 元/30 分钟

① 单次停车时间大于最高付费对应时长，通过将具体数值代入上述式子得到收益为： $(Mu_{i1} + nMu_{i2})2a_{i3}$ 。

② 若包月则路段每月一辆车收费为 400 元/月。

方案七：若路段属于三类地区，则日收费标准 $x = 1$ 元/30 分钟

① 当日单次停车时间小于 30 分钟，通过将具体数值代入上述式子得到收益为零。

② 若当天多次停车由问题一知，收益为 $\sum_{i=1}^n t_i * x * 2a_{i1}$ 。

③ 若包月则路段每月一辆车收费为 180 元/月。

方案八：若路段属于三类地区，则日收费标准 $x = 1$ 元/30 分钟

① 停车时间大于 30 分钟且不超过最高付费对应时长，通过将具体数值代入上述式子得到收益为：

$$\left(Txu_{i1} + \sum_{i=1}^n t_i xu_{i2}\right) 2a_{i2}。$$

② 若当日多次停车且累计停车时间超过最高付费对应时长得到的收益为： $\left(Mu_{i1} + \sum_{i=1}^n t_i xu_{i2}\right) 2a_{i2}$ 。

③ 若包月则路段每月一辆车收费为 180 元/月。

方案九：若路段属于三类地区，则日收费标准 $x = 1$ 元/30 分钟

① 单次停车时间大于最高付费对应时长，通过将具体数值代入上述式子得到收益为：

$$(Mu_{i1} + nMu_{i2})2a_{i3}。$$

② 若包月则路段每月一辆车收费为 180 元/月。

6. 模型的评价

6.1. 模型的优点

1) 在问题一的求解过程中，针对车辆停车时间长短和停车次数，列出了五种可能情况，较好地分析移动视频采集车计费可能产生的计费收益和损失。采用分析列举法，能够清晰的将所有假设范围内的视频采集车收益与损失情况列举出来，结果的呈现一目了然。

2) 在问题二的求解过程中，我们总体采用聚类分析的方法，使道路规划更加简便合理。k-means 聚类算法的使用，使所做数据点的分类更加科学。其中我们创新应用以点代路的方法，使问题简化，方便道路规划。

3) 对于问题三中的 0-1 规划模型，较好地契合了我们要解决的问题，系统地得出人工收费和移动视频采集车收费分别对应的道路。多目标线性规划可以较科学地解决两个对象的线性目标函数最优解的问题。

6.2. 模型的缺点

1) 为了得到移动视频采集车计费可能产生的计费收益和损失，我们做了一些假设，使情况趋于简单化，缺少了实际问题中的复杂变化。在第一问的求解中，我们忽略了包月对所列出的五种情况的影响，可能使收益或损失有所变化。

2) 问题二中的我们假设采集车行驶的都为双向马路，没有考虑沈阳市和平区部分街道存在单向马路的情况，导致规划出的道路实际应用性不强。以点代路在使问题简单的同时，增大了模型的误差，可能会降低规划的合理性。

3) 问题三中的第一小问，0-1 规划模型的使用可能会将移动视频采集车计费与人工计费格式化，使

路段计费分配脱离了实际情况。多目标线性规划对数据的准确性要求高，只能对线性的问题进行线性规划，而且计算量大[6]。

参考文献

- [1] 司守奎, 孙玺菁. 数学建模算法与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [2] 董骥瑞. k-均值聚类算法的改进与实现[D]: [硕士学位论文]. 吉林: 吉林大学, 2015.
- [3] 刘馨月. k-均值聚类[M]. 北京: 科学出版社, 2020.
- [4] 单双. 基于模拟退火法的基站选址优化问题——模拟退火法在 0-1 规划的数学规划模型上的应用[J]. 应用数学进展, 2023, 12(6): 2936-2944.
- [5] 熊庆如. 基于线性规划模型中多目标规划模型处理的研究[J]. 科学技术创新, 2020(28): 42-43.
- [6] 白鹤松. 基于多目标线性规划的决策模型研究[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2008, 13(6): 57-59.