

有关骑电单车的管理问题

张璧萱 何洪良 王懂

摘要：针对骑电单车的管理问题，本文通过对 ofo 共享单车的实时数据进行爬取和处理，选取以西湖区为中心，面积 349km^2 的区域作为研究对象，利用 BDP 得到与共享车辆需求相关的热力图，通过栅格地图处理和梯度下降的方法计算得到骑电单车“定点换车”的理想还车点位置规划；爬取夜间人流信息得到热力图，对白天初始时骑电单车需求分布进行预测，与实时单车数据进行比较，建立简单的单车调配规则；利用不同时段爬取的 ofo 共享单车数据进行比较、计算，以 GOGO 电单车的性能参数为参照，得到电单车在不同时段的运行里程，进而得到骑电单车在不同时段耗电速度，进而预测出可用车辆随时段变化函数，同时建立用户体验与可用车辆比例之间的关系模型，通过收益最大得到最佳换电周期。结果表明，所建立的还车点规划模型能够尽可能覆盖共享单车坐标，结果与预期相符。计算得到的换电周期在预计的换电周期范围内。

一、问题的重述

电单车的运营与传统的共享单车的运营最大的区别是电单车需要经常更换电池，根据调查发现，大多数企业的解决方法是雇佣大量的线下运维人员进行电池的更换。而为了电池更换方便，减少运维成本，同时保护市容市貌，对电单车有“定点还车”的规定。



我们所做的工作是：1、分析电单车的“定点还车”规则，在杭州城内设置还车的“定点”。 2、在设计杭州还车点的位置的基础上，设计共享电动车在不同“定点”之间的调配规则，以防止某个“定点”用户很多单没车的情况。 3、根据电单车的性能和电池效能，以保证收益与用户良好体验之间平衡为约束，计算得到杭州城内运维团队更换电池的最佳周期。并且在此基础上，初步设计一种实际换电时运维团队的运行思路。

二、 模型假设

问题一：

①假设骑电单车和共享单车的需求量、需求分布基本相同。故可以用共享单车的实时数据推测骑电单车还车点的最佳位置。

②骑电单车理想还车点规划时不考虑地图约束。当实际建设还车点时，根据实际情况在距离理想还车点较近的范围内寻找合适的位置建立还车点。

③参照南京在邗城区的共享电单车投放量及还车点的规划方案(六七百个)，结合杭州人流量更大的特点，假设以西湖区为中心，面积 349km^2 的区域内共规划还车点 1700 个左右。

问题二：

④假设人流量和骑电单车的需求量成正比。故可以利用夜间的人流信息得到早晨的骑电单车寻求分布。

问题三：

⑤假设区域内骑电单车的剩余电量分布服从高斯分布，且均值为骑电单车可以行驶的最长时间的一半，方差的二倍与均值相等。

⑥假设骑电单车电量损耗时，剩余电量分布向原点方向平行移动，即均值下降，方差不变。

⑦在计算换电周期 T 时，假设运维团队换电所花时间为零，即瞬时换电。

⑧假设可用车辆和收入成正比，支出和 t 成反比。

⑨骑电单车性能参照 GOGO 电单车的数据，并结合实际情况，满电状态可行驶 40km。

⑩假设骑电平均路程是小黄的 10 倍。

三、函数说明

①**Manhattan(A,stop_points):**

(1) A 是一个 $N \times 2$ 的矩阵，记录的是现在分析的区块中所有车的纬度和经度。

(2) stop_points 是一个 M*2 的矩阵，记录的是现在设立的停车点的纬度和经度。

(3) 计算方式：对于每一辆车，都要先遍历 M 次找到一个最近的停车点，然后再把这些距离全部加起来。

(4) 每一个点的曼哈顿距离计算方式：由于在北纬 30 度，经度差距和纬度差距代表的距离不一致，因此计算方式为：经度差* $\frac{\sqrt{3}}{2}$ +纬度差。

②block():

(1) 运用梯度下降的方式来寻求最优的停车点停放位置。

(2) 对我们选取的杭州市部分做了一个划分，共划分成 21*17 个小方格。估计每个方格停车点数目：一个停车点约能停放 40 辆车。通过计算这样子的方格面积再 1 平方千米左右。

(3) 选取一个方格，再细分成 100 等份，假设所需 7 个停车点，在这 100 等份里找最好的 7 个方块其中心为停车点。

(4) 参数说明：以下水平方向表示经度差，垂直方向表示纬度差

top_left_x, top_left_y: 我们选取的大区域左上角经纬度。bottom_right_x,

bottom_right_y: 我们选取的大区域的右下角经纬度。

horizon_diff, vertical_diff, 所选区域水平经度差和垂直纬度差。

horizon_step, vertical_step, 分割成的每一个方块的长和宽。

data: 爬取的数据。

index_y: 方块在垂直方向的位置。(矩阵的行)

index_x: 方块在水平方向的位置。(矩阵的列)

block_of_bike: 每个方块中车的数量组成的矩阵。(17*21)

stop_num: 每一个方块中预估应该放的停车点数目。(17*21)

A: 我们选取的方块里面的车的经纬度信息。

start_x, end_x, start_y, end_y, 选取方块的经纬度信息。

step_x, step_y: 选取的方块继续划分 100 小份的边长。

stop_points: 所选方块停车点经纬度信息。

total_dist: 每一次调整得到的总 Manhattan 距离。

begin_dist, final_dist: 未调整前和调整后的总 Manhattan 距离。

adjust_times: 调整次数。

③analyse:

T 是出车换电池的周期，单车数量与 1/T 对收益影响的程度的比例 k 取 10000；可以更换第一行的 T 值来看在这个 T 下的效益与用户满意度综合评估值 assess。后面会做具体说明。

④fit:

简单地处理一下得到的每辆车平均电耗损和时间的关系，拟合得到 $g(t)$ 。

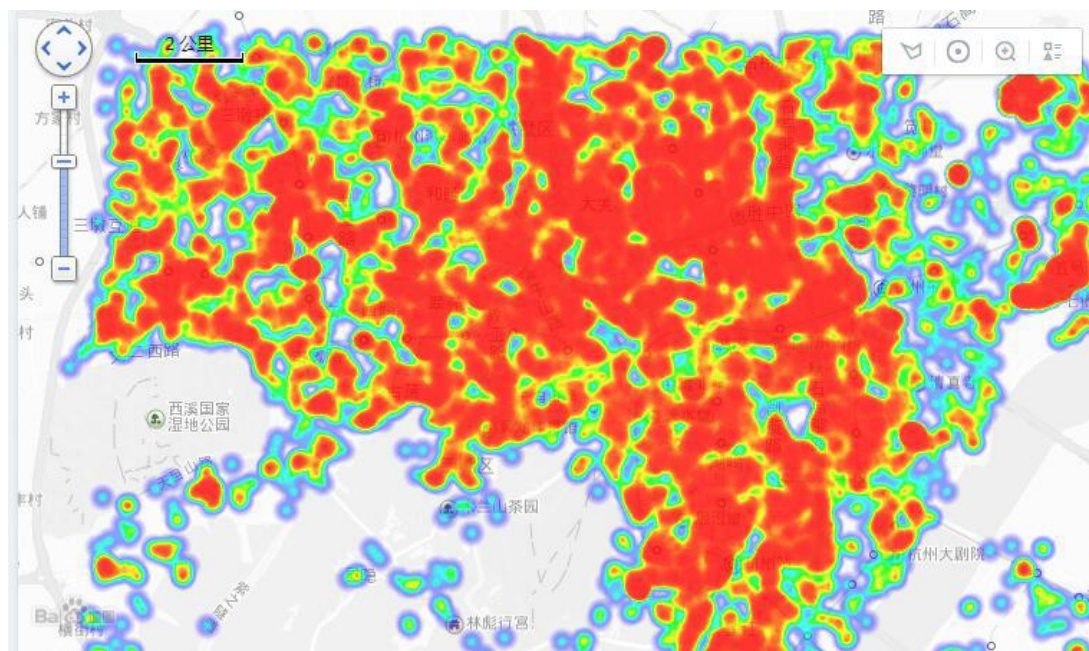
四、模型的建立与求解

1. 建模思路与模型的建立:

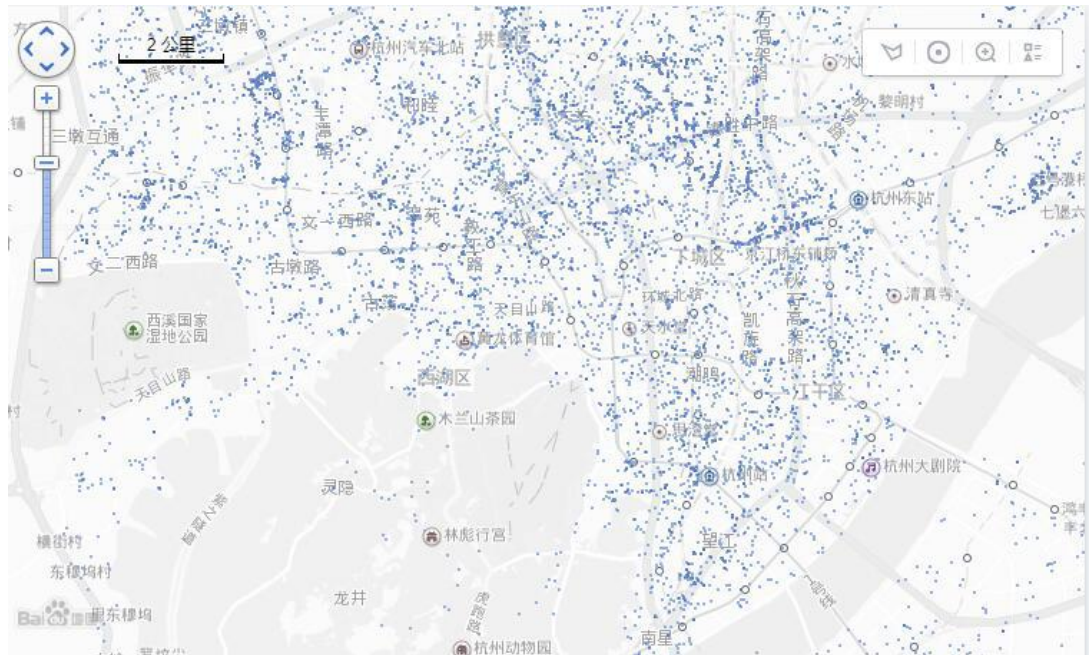
(1)对骑电单车还车点的规划建模:

对于骑电单车换车点的位置选择，首先明确的一点就是选择的地点要尽可能为用户提供方便。因此需要知晓的数据为：用户在哪里拿到车会更方便，用户会倾向于在哪里还车，哪些人会使用骑电单车。

为解决这些问题，我们查找了资料，关注了各城市试行共享电单车的效果，最终发现，用户选择骑电单车代步基本上是为了满足中短距离移动的需要，这与共享单车相仿，并且两者的用户人群也基本一致，因此用共享单车的位置信息来规划骑电单车还车点的位置十分合理。在 GitHub 上我们找到了 ofo 共享单车位置信息的爬虫源码，以此收集得到 ofo 共享单车的实时数据。以西湖区为中心，面积 349km^2 的矩形范围内收集到查重后 ofo 单车 7 万辆，通过 BDP 可生成该区域的 ofo 单车分布热力图如下：



由于所选范围较大，热力图表达不清楚，故配以更简洁的散点图如下：



可以看到，市中心的车辆分布密集，而西溪湿地，灵隐寺附近山地几乎没有共享单车分布，钱塘江以南共享单车数量锐减，符合实际。

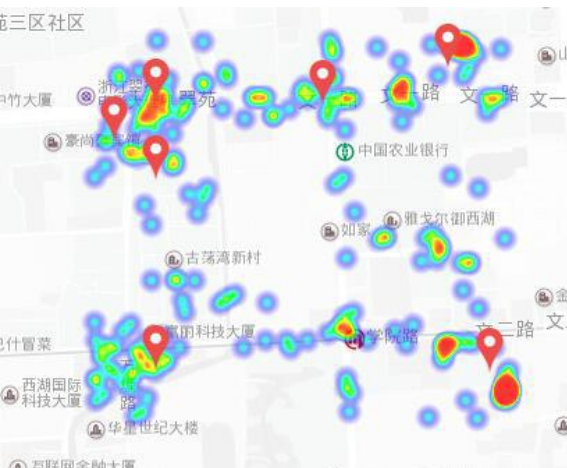
得到可用数据后，接下来是对该地区布置还车点的数量的规划。参照南京在邳城区的共享电单车投放量及还车点的规划方案（六七百个），结合杭州人流量更大，少平地，路况适合骑电单车的特点，假设该区域内共规划还车点 1700 个左右。

由于该范围较大，故选择先分区，分配还车点数量，再确定还车点理想位置的思路。首先将该区域等分为 17×21 的方形区域，每个方形区域面积 0.97km^2 左右，统计每个区域内共享单车的数量作为该地区还车点的需求量，加权分配还车点，即平均每 40 辆车分配一个还车点。考虑到每个区域应至少建立一个还车点以应对个别客户特殊情况的发生，故对得到的结果，当该区域计算得到的还车点数小于 2 时，向上取整，大于 2 时，四舍五入。通过 MATLAB 计算得到如下结果（该列表数值上下对称处理后可与地图匹配）：

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	9	12	10	9	2	3	3	2	2	2	2
2	1	0	1	0	0	1	1	1	2	1	2	3	2	3	2	2	4	1	2	2	20
3	1	0	1	0	1	0	0	1	3	4	4	1	2	8	3	7	3	2	2	2	5
4	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	7	6	1	1	3	4	2	1	1	2	1
5	2	0	0	1	0	1	1	1	2	1	8	19	7	1	1	2	2	2	2	1	1
6	2	1	0	0	1	1	2	1	1	2	9	12	6	4	2	1	1	2	2	1	1
7	5	2	1	0	2	2	1	0	0	12	12	15	20	6	7	1	1	2	1	1	1
8	3	2	1	1	0	1	2	1	1	7	19	27	16	13	11	3	0	1	2	12	1
9	1	5	2	6	2	2	11	1	3	10	16	14	11	16	6	3	3	1	1	1	1
10	1	0	1	5	9	4	18	14	9	13	17	12	6	13	20	8	2	1	1	1	1
11	2	1	2	4	3	14	22	14	15	11	10	12	15	18	9	3	2	1	0	0	1
12	7	8	4	2	4	8	7	15	14	9	10	7	20	15	7	2	3	3	1	1	0
13	6	14	7	5	3	13	7	9	9	12	7	23	14	8	3	2	2	38	5	3	2
14	6	4	5	14	9	5	7	9	7	12	19	26	7	5	2	3	2	4	6	10	4
15	6	7	3	16	2	6	5	9	14	9	25	11	5	4	3	2	2	2	4	8	6
16	7	5	8	3	3	5	4	8	12	10	14	9	7	4	2	1	2	4	2	3	5
17	3	3	4	4	6	8	4	7	8	8	7	8	9	8	4	1	5	9	3	2	1

接下来对每一个区域进行还车点的精确位置规划。首先运用栅格地图法，将被选中的区域切为合适的方块作为步距（define，如 5*5）；已知该地区还车点数，随机选点作为初始还车点，计算区域内每辆车到这些还车点的最短距离的和，此时上下左右移动任意一个还车点，再次计算每辆车到这些还车点的最短距离的和，如果距离变短，则更新还车点的位置数据，直到不论如何移动，最短距离的和都不会再减小，此时得到理想还车点坐标，这就是梯度下降找最优解的方法。对上述矩阵中，坐标（7，12）代表的区域为例进行还车点的精确位置规划，得到的结果如下：

	1	2
1	30.2881	120.1245
2	30.2873	120.1234
3	30.2822	120.1245
4	30.2881	120.1288
5	30.2864	120.1245
6	30.2822	120.1331
7	30.2890	120.1320



最后，考虑特殊情况，为客户出行方便，对特定地点如地铁口进行再判断，若此处尚没有还车点，则加入新的还车点在此地，以方便客户转乘地铁。

(2)在有还车点规划的前提下，对“定点”之间的调配规则建模有如下考虑：

调配规则是为了满足特定时间大量客户流的需求。如早晨上班时间大量市民

由近郊涌入市中心，下班时间相反；而在这期间，小股客户流会将骑电单车骑到其他位置，导致下班时市中心的骑电单车数量难以满足早上相同数量的客户。因此，调配规则的规划一定建立在骑电单车需求分布的预测上。

选择人流信息进行骑电单车需求分布的预测。本文通过微信宜出行的数据获取人流分布，由于人流变化就意味着对交通工具的需求，故可以简单将其视为未来骑电单车需求的分布。微信宜出行数据生成的热力图如下图：



具体操作为：在特殊时刻如早晚高峰前 2h 时，对单车位置，人流分布进行数据爬取，根据人流分布等比例换算生成 2h 后的单车需求分布。派出调配团队，根据单车位置收集车辆，再根据 2h 后的单车需求分布将单车运至需求所在区域。

为减轻调配团队的压力，通过对单车需求分布和单车实际位置比较，将相差较小的区域忽略，只对相差巨大的区域进行调配。由于没有计算全部的还车点位置，特殊时刻的选取方案也很模糊，该模型只进行了模型设计，并未进一步设计求解方法和计算验证。

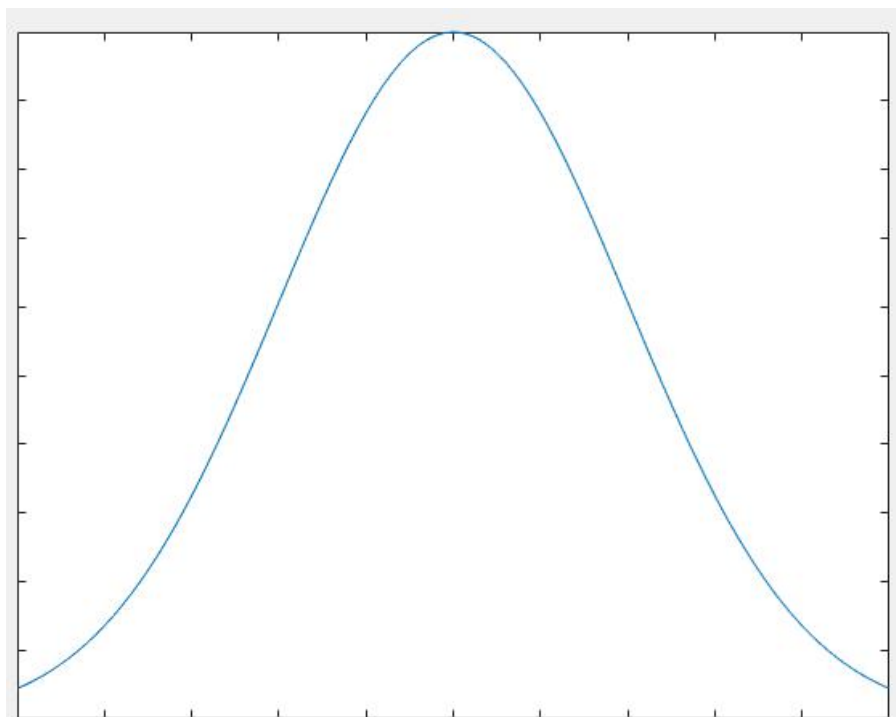
(3)在有还车点规划的前提下，对运维团队换电策略建模有如下考虑：

当骑电单车电量下降到一定值后，将没有用户会选择该单车，此时单车将需要运维团队更换电池，显然，运维团队换电的频率越高，不可骑乘的电单车就越多，然而增加了运维团队的工作量，换电成本将提高。

为了得到最佳换电周期 T ，需要有通过 T 计算收益的方法：根据骑电单车电损耗，估计可用单车的数量，同时每次换电后，增加可用单车的数量，联立得到‘可用车辆随时段的变化’。而可用车辆的数量与公司收入成正比，同时成本和换电周期成反比，两者相减得到净收益。除此之外，不可用的单车数量过多将会降低用户满意度，从而失去客源，降低收益。设定评估值为用户满意度和收益的乘积。由上述关系，可以计算出换电周期和评估值之间的关系，从而得到评估值最大情况下的最佳换电周期 T 。

为得到可用车辆随时段的变化，需计算电单车耗电速率在不同时段的变化。根据 GOGO 共享电单车的相关数据，在此假设单车满电状态最远可行驶 100km。对 ofo 共享单车每隔一小时爬取一次实时数据，通过对同一辆单车坐标变化可换算出该单车此时段内移动的距离，对骑出圈外和骑入圈内的单车计算从所划区域边缘到达所在位置的距离。全部相加得到总的移动距离，进而得到单车移动的平均距离。根据电单车最远行驶距离换算该时段内电单车平均耗电量。对一天 24 组数据进行上述换算，得到电单车耗电速率在不同时段的变化，进而可得到可用车辆随时段的变化。

对骑电单车的剩余电量分布，选择使用高斯分布进行拟合，且假设当单车剩余电量小于 15%，无用户会选择该车。换电时，将电量 15% 以下的单车换为满电电池。不论换电还是耗电，将会使高斯分布均值上升或下降，标准差 σ 不变，固定为 0.25，每次换电后高斯分布均值 μ 都变为初始值 0.5。



对用户体验参数模型做如下设计：通过可用车辆数和总车数可以计算用户遇到第 N 辆车才遇到电量充足的电单车的概率。并设定， $N=1$ 时，用户体验为 100

分， $N=2$ 时，用户体验为 80 分， $N=3$ 时，用户体验为 60 分， $N \geq 4$ 时，用户体验为 0 分。将分数乘以概率得到用户体验的平均分数，平均分数将参与最后评估值的计算。

针对运维团队对较大区域的换电策略问题，设计运维分区管理，每个运维小队管理一片区域，对管理的区域进行轮换，轮流值班。同时，每个区域都设立换电站，每次换电都从换电站出发，避免过远距离换电的困难。

解决最佳换电周期 T 的计算问题后，重新考量运维团队换电策略。如若条件允许，还车点的建立可以参照杭州市民公共自行车“小红”的还车点，如下图所示，每辆车都需要放入固定车位才可以结束行程。对车位进行改进即可实现单车放入还车点即开始充电。如此将不再需要专门换电池的运维团队。



2. 求解方法：

骑电单车还车点规划模型的建立：

包装 block 函数和 Manhattan 函数，通过 matlab 进行计算。输入共享单车实时位置数据，输出还车点大体分配的矩阵和（7，12）区还车点理想位置的经纬度坐标。先对地图进行分区，通过每 40 辆车一个还车点的基本原则，大体分配还车点，再对（7，12）区用栅格地图法进行梯度下降，计算得到每个还车点的经纬度坐标。这里计算车到还车点的距离时，因为直线距离往往是不符合现实情况的，因此采用曼哈顿距离。

计算方式：①随机 7 个方块。调用 Manhattan 函数，计算总 Manhattan 距离。②然后 7 个方格每一个都可以上下左右移动一格（在边界内），最多有 28 种移动方式，对每一种方式计算总 Manhattan 距离，并选择最好的一种作为我们的移动方式。③如此反复知道我们找不到一个移动方式来减小总 Manhattan 距离，经过

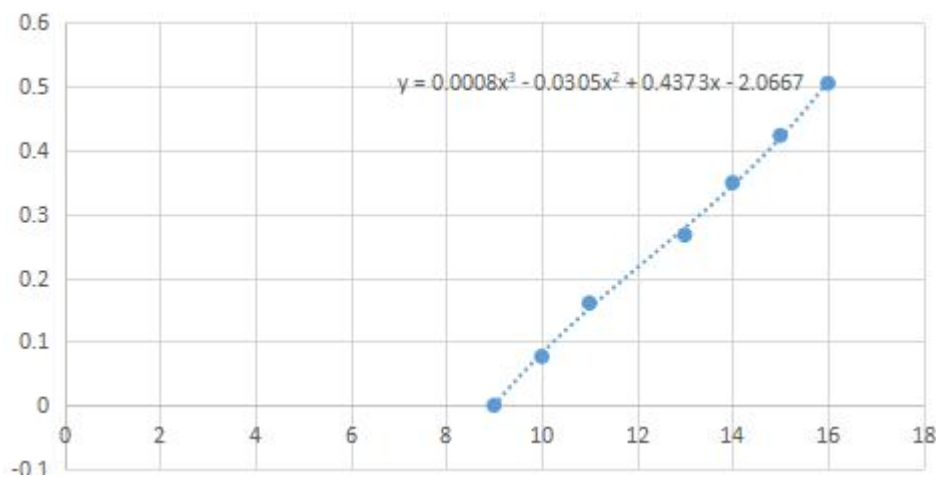
多次实践，在绝大部分情况下，这停车点总是收敛到一些固定的最优解。

单车移动平均耗电量的计算：

包装 dist 函数，main 函数和 dist_to_cost 函数，通过 matlab 进行计算。输入两个时刻的单车坐标组，输出这个时段单车移动总距离。根据同名称单车在两个坐标组的坐标变化计算移动距离。将所有距离总和在一起输出。计算平均距离，换算为该时段平均耗电量。

最佳换电周期 T 的建模与计算：

包装 analyse，通过 matlab 进行计算。得到每个时段的平均耗电量后，可计算该时段平均耗电速率，结合换电周期 T 对电量补充造成的均值的突变，得出单车电量的高斯分布的均值随时间变化的函数。这里每隔 T 时间，正态分布的初值重新跳回初始值 0.5。总电量是 1，单车平均电损耗与时间关系的拟合曲线大致如图所示：（9 点到下午 4 点）。



由单车电量高斯分布的随时间的变化函数，运用微分思想，选取极短时刻单车可用量的值计算和再平均，得到一天的平均单车可用量；同时得到单车可用率随时段的变化函数。

继而由于这个区域内车的总数为 7W 辆左右，由单车可用率可以得到单车可用量。并计算其在这几个小时的均值。

收益的评估为：

单车可用辆的均值-K/T。（1/T 是换电频率，换电频率越少，人力支出就少了，收益就会大，所以这样的评估合理）

设 a 是用户碰到这辆车后能使用的概率，它等于当前时刻单车可用率，我们来对满意度进行打分，用户体验的分数评估期望为：

$$100*a+80*a*(1-a)+60*a*(1-a)*(1-a)。$$

总评估为：

收益评估*用户满意度评估。

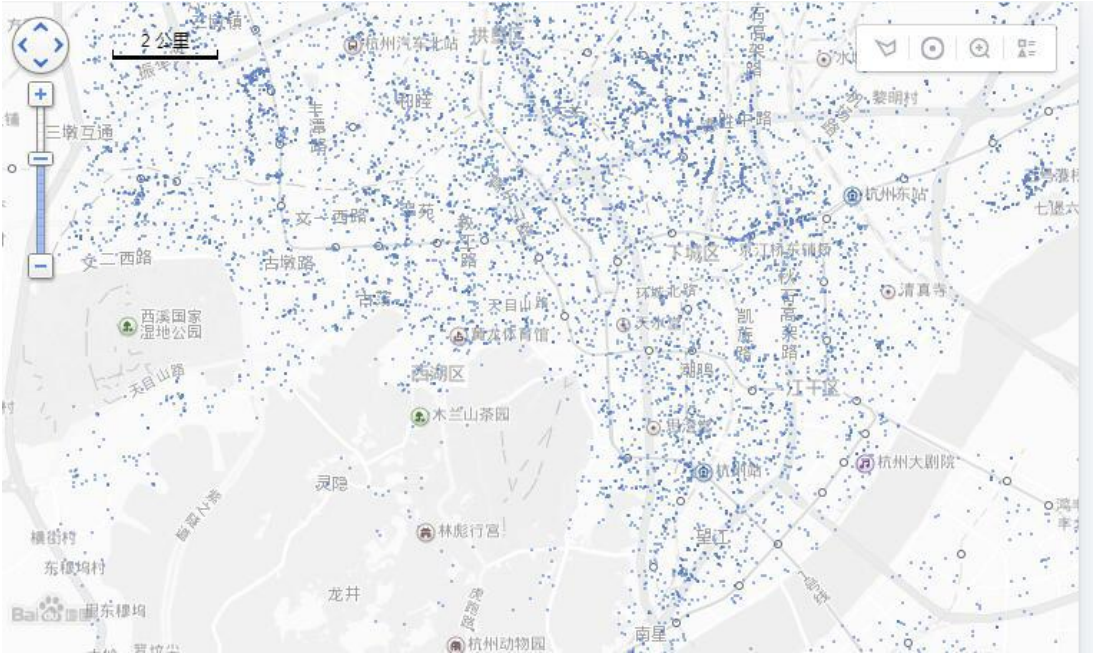
对一个 T 值，可计算出一个评估值。以 15min 为步距代入 T 值直到 T=2h,

计算出一组评估值，最大评估值对应的 T 即为最佳换电周期 T。

3. 求解结果与模型的分析与检验：

(1)对骑电单车还车点规划建模的有关结果：

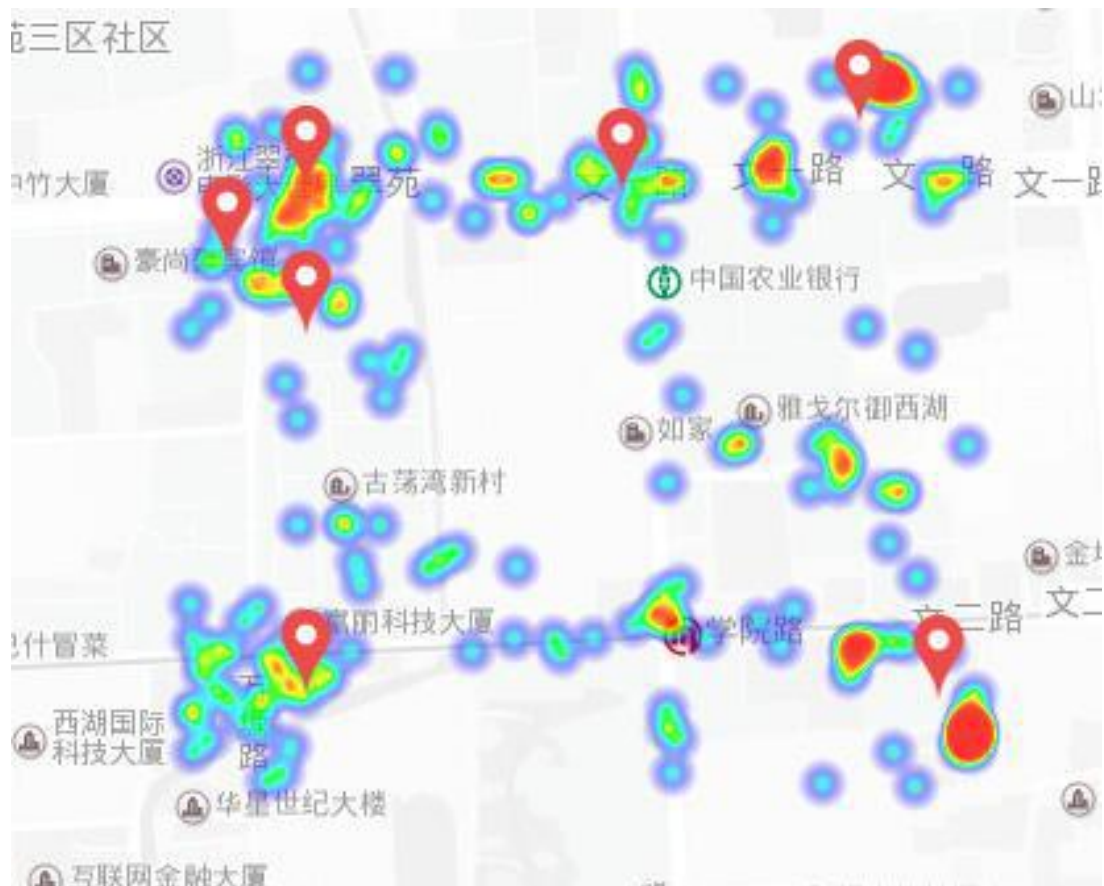
对共享单车位置信息进行爬取呈现在地图上如下：



还车点大体分布矩阵如下图：

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	9	12	10	9	2	3	3	2	2	2	2
2	1	0	1	0	0	1	1	1	2	1	2	3	2	3	2	2	4	1	2	2	20	
3	1	0	1	0	1	0	0	1	3	4	4	1	2	8	3	7	3	2	2	2	5	
4	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	7	6	1	1	3	4	2	1	1	2	1	
5	2	0	0	1	0	1	1	1	2	1	8	19	7	1	1	2	2	2	2	1	1	
6	2	1	0	0	1	1	2	1	1	2	9	12	6	4	2	1	1	2	2	1	1	
7	5	2	1	0	2	2	1	0	0	12	12	15	20	6	7	1	1	2	1	1	1	
8	3	2	1	1	0	1	2	1	1	7	19	27	16	13	11	3	0	1	2	12	1	
9	1	5	2	6	2	2	11	1	3	10	16	14	11	16	6	3	3	1	1	1	1	
10	1	0	1	5	9	4	18	14	9	13	17	12	6	13	20	8	2	1	1	1	1	
11	2	1	2	4	3	14	22	14	15	11	10	12	15	18	9	3	2	1	0	0	1	
12	7	8	4	2	4	8	7	15	14	9	10	7	20	15	7	2	3	3	1	1	0	
13	6	14	7	5	3	13	7	9	9	12	7	23	14	8	3	2	2	38	5	3	2	
14	6	4	5	14	9	5	7	9	7	12	19	26	7	5	2	3	2	4	6	10	4	
15	6	7	3	16	2	6	5	9	14	9	25	11	5	4	3	2	2	2	4	8	6	
16	7	5	8	3	3	5	4	8	12	10	14	9	7	4	2	1	2	4	2	3	5	
17	3	3	4	4	6	8	4	7	8	8	7	8	9	8	4	1	5	9	3	2	1	

对（7，12）区还车点分布结果如下：



从结果可以看到模型达到了建模目的，程序有小概率进入局部最优，但基本能够满足需求。模型思路完备，对大数据问题有细化、简化策略，可以应用于实际规划。

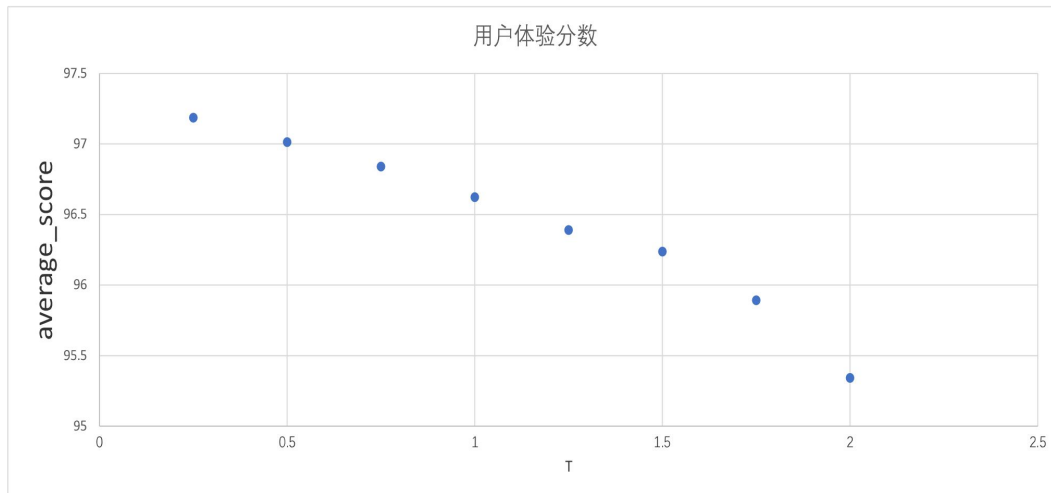
(2) “定点”之间的调配规则建模：

模型想法符合基本认知，设计简单浅显。架构思路清晰，便于将来对实际求解方法的进一步建模和计算验证。

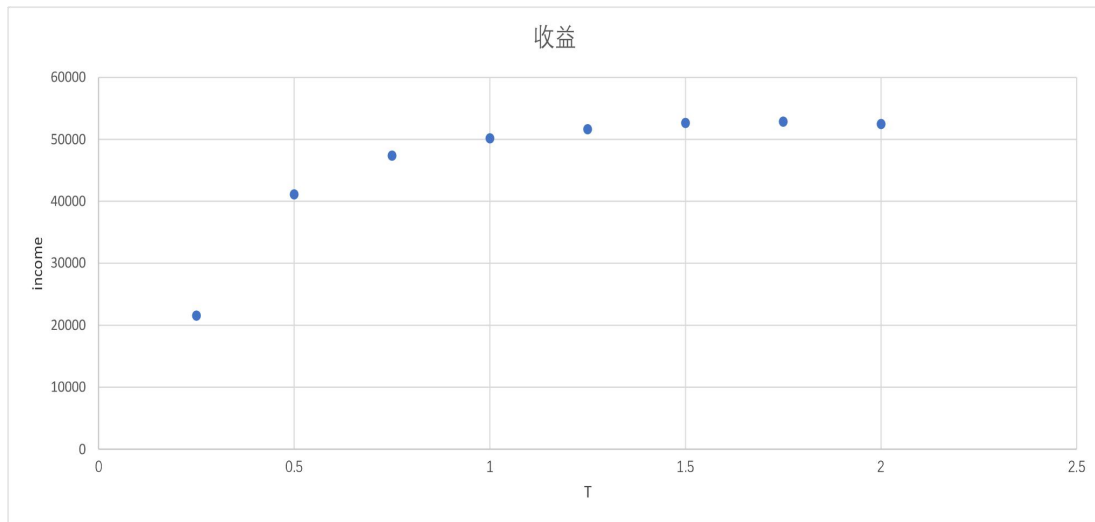
(3)对运维团队换电策略建模：

用我们小组自己写的 `analyse.m` 得到以下效果：

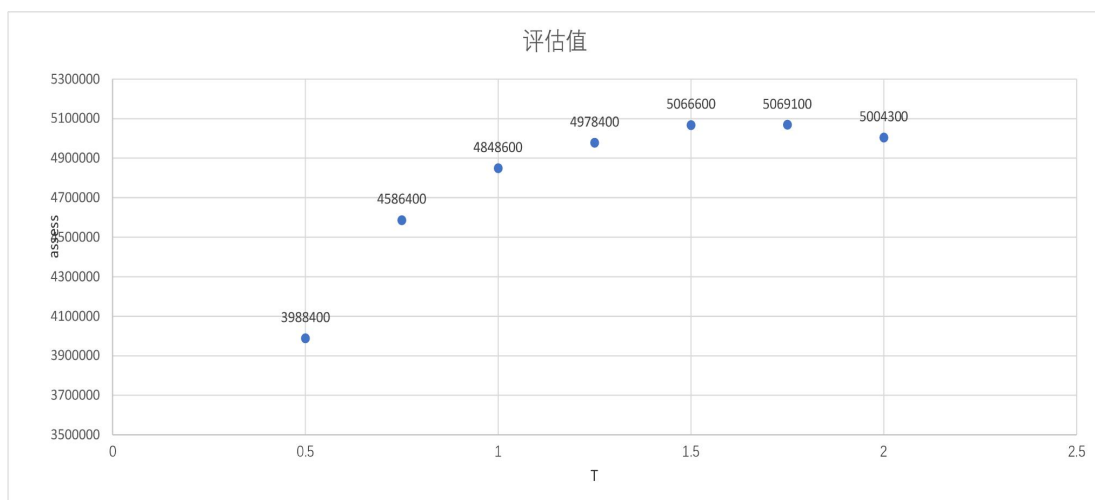
用户体验随 T 变化曲线：



收益随 T 变化曲线：



评估值随 T 变化曲线：



由数据处理可得，当 T 等于 1.75h 时评估值最高。

模型达到了建模目的，程序较为复杂，但实现效果好。参数较多，适用范围

广。

五、模型的评价与推广

①模型工作：

先后建立的模型分别完成了还车点的理想位置寻找，简单电单车定点调配，最佳换电周期的计算，再加上实际换电制度的设计等，整合在一起完成了有关骑电单车的管理问题的讨论和计算分析。模型得到的结果，可以指导杭州还车点的地址选取，对换电周期进行预估，可用于对运维团队工作量的预算评估。模型结合实际问题，可以真正用于实践以勘察模型优劣。

②模型中不足之处：

- 1.对还车点的位置规划停留于理想状态，不考虑地图约束，也因为地图约束会带来别的实际问题，故模型的建立难以更进一步。
- 2.在进行大区域分配时发现一个共享单车数量极大的区域且该区域周边车极少，由于没有实地考察，故难以判别此反常现象出现的原因，猜测是由于该处有大量损坏单车堆积。

1	1	2	2	1	1
1	1	2	1	1	1
3	0	1	2	12	1
3	3	1	1	1	1
8	2	1	1	1	1
3	2	1	0	0	1
2	3	3	1	1	0
2	2	38	5	3	2
3	2	4	6	10	4
2	2	2	4	8	6
1	2	4	2	3	5
1	5	9	3	2	1



3.梯度下降有小概率会进入局部最优,但是经过多次测试发现并未出现此问题,并且对考虑地图约束的还车点的规划影响很小,故本文不再针对此问题做进一步优化。

4.计算换电周期时为计算方便,引入太多假设,势必导致结果的偏差。同时由于单车参数不足,在函数建立时留下很多参数假设,这虽然让函数变得更具普适性,但也增加了函数的复杂性。

5.计算单车平均移动距离时由于数据限制,实际值和计算得到的值出入可能很大。

③模型中遗留未解决的问题:

1.由于并没有计算全部还车点的精确坐标,故对特定地点如地铁口进行再判断的部分并没有进行,只是作为一个计划完善所建立的模型。

2.对骑电单车的调配规则设计由于缺少所需数据,只进行了模型设计,未做进一步建模。

3.对运维团队分区管理的区域实际划分并未做实际规划设计,设计思路可以仿照规划还车点位置的方法,用梯度下降的方法寻找理想换电站位置。

六、参考文献

- [1] 苏琪.7 号电单车于南京建邺区试运行[J].电动自行车,2017(02):41-42.
- [2] 佚名.绿领在杭州试点推广共享电单车[J].电动自行车,2017(06):25.

七、附录

matlab 各程序都已打包，此处略过不表。