

基于 Vissim 的共享电动汽车交通流出行仿真

袁 洁¹, 崔博宽²

(1. 溧阳中等专业学校, 常州 213300; 2. 同济大学 汽车学院, 上海 201804)

摘要: 共享电动汽车作为公共交通手段的新兴选择及其所具有的广阔前景与市场, 研究其出行数据和出行规律具有重要意义。针对具有代表性的特定路段(特大城市郊区主道路路口), 采集共享电动汽车实际出行数据, 设计了一种基于实际场景筛选提取有效数据的方法, 并通过对有效数据的研究揭示了共享电动汽车相关的出行特征情况。在此基础上, 实地摄录采集并统计了基本交通数据, 针对早晚高峰和其他时间搭建了路口的仿真模型, 设计了预测路口和路段共享电动汽车的最大出行量的方法, 完成了仿真预测实验, 在一定程度上验证了共享电动汽车出行特征的分析结果。研究结果对分时租赁公司相关运营策略具有指导意义, 并可为用户出行时间及路线提供选择。

关键词: 共享电动汽车; 出行特征; 道路路口; 交通流

中图分类号: U121

文献标志码: A

Traffic Flow Simulation of Shared Electric Vehicles Based on Vissim

YUAN Jie¹, CUI Bokuan²

(1. Liyang Secondary Vocational School, Changzhou 213300, Jiangsu, China; 2. School of Automotive Studies, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: As a new choice of transportation, shared electric vehicles have a broad prospect and market. It is of great significance to study their traveling data and understand their traveling laws. In this paper, a method was designed to extract the effective data based on the actual scene, which was used to collect the real trip data of shared electric vehicles and to reveal the traveling characteristics of shared electric vehicles. The basic traffic data were collected and counted, the simulation models of intersections were built for morning and evening rush hours and other times, and the method to predict the maximum traffic volume of shared electric vehicles at intersections and road sections was designed. The simulation and prediction experiment was conducted, which validated the analysis result of the

traveling characteristics of the shared electric vehicles to a certain extent. The research results have a guiding significance for relevant operation strategies of time-sharing leasing companies, and can provide users with the choice of traveling time and route.

Key words: shared electric vehicles; traveling characteristics; road junction; traffic flow

汽车分时租赁作为共享出行中极其重要的组成部分, 可以被定义为: 拥有多种车型的组织向其成员随时提供便捷的汽车出行服务, 使用者通过移动互联网完成汽车租赁的全过程^[1], 并根据使用时间或里程支付费用的汽车共享模式。其作为城市交通的组成部分和居民出行方式之一, 可以满足短途汽车出行需求, 衔接公共交通, 具有小汽车出行的替代功能, 是一种新的出行理念和出行方式^[2-4]。分时租赁共享电动汽车的出行模式具有绿色、智能和增容的效用^[5-6]。

汽车分时租赁对于城市交通和环境的改善作用已经越来越为国际社会了解和接受^[6]。2010年, 汽车分时租赁进入中国市场, 之后得到迅猛发展, 相继出现了多家运营企业。同时, 共享电动汽车在使用运行的过程中也产生了大量的数据, 这些数据被广泛应用于共享经济的研究^[7-8]。但是如何有效地对如此大量的数据进行针对性的研究在学术界一直没有形成统一的观点, 此外, 针对共享电动汽车出行特征的研究目前主要以使用数学工具为主, 分析视角多从单纯的车辆行驶视角出发, 少有学者能够综合考量车路关系, 将目光投向如何解决交通拥堵, 并建立一套有效的车路协同物理仿真模型对该问题进行研究。

本文针对以上问题, 旨在提出一种对共享电动汽车实际出行数据的提取, 借助 MATLAB 软件的数据处理方法, 对共享电动汽车交通出行特征进行

研究;在此基础上,使用PTV-Vissim软件,针对早晚高峰和其他时间搭建了路口的仿真模型,完成了仿真预测实验,在一定程度上验证了共享电动汽车出行特征的分析结果,最终得出共享电动汽车在宏观角度和微观角度对路网交通的影响。研究结果一方面可为用户出行提出建议,另一方面可为分时租赁公司基于如今的交通情况对运营车辆规模、停车位数量的布局规划提出一些参考。

1 数据筛选计算与分析处理

1.1 实际数据的预处理

本文所采用的数据为上海市EVCARD分时租赁汽车平台的出行数据,并选用同一车型-荣威E50的数据作为研究对象。

1.1.1 基于Excel的初次数据筛选方法设计

对于EVCARD平台所提供的实际出行数据,其类别可以划分为:故障警报信息、充电状态信息、电池最值信息、电机状态信息、整车数据信息、车辆位置信息等。从以上类别中筛选出整车数据信息中的车辆数据时间、车辆行车速度,以及车辆位置信息中的车辆所处纬度、车辆所处经度,如表1、2所示。

表1 EVCARD平台出行数据筛选		
Tab.1 Traveling data screening of EVCARD platform		
序号	数据名称	备注
1	数据时间	格式为:yyyy/m/d h:mm
		数据采集间隔为10 s
2	行车速度	有效值: 0~220.0 km/h
		最小计量单位: 0.1 km/h
3	所处纬度	有效值: 31.10°~31.36°
		最小计量单位: 0.000 001°
4	所处经度	有效值: 120.85°~120.20°
		最小计量单位: 0.000 001°

表2 Excel中筛选处理后的数据储存格式		
Tab.2 Data storage format after filtering in Excel		
序号	数据名称	备注
1	启动时间	格式为:yyyy/m/d h:mm
2	停止时间	格式为:yyyy/m/d h:mm
3	直线距离	单位:km,有效数字保留6位
4	拟合路程距离	单位:km,有效数字保留6位
5	出行所用时间	单位:min,有效数字保留6位
6	出行平均速度	单位:km/h,有效数字保留6位

1.1.2 基于MATLAB软件的二次数据提取方法

数据中存在一部分数据段初始速度或末端速度不为0,或是短短几分钟但速度始终为0的情况。这种类型的数据在本文中定义为“跳跃”数据段,其无法有效地体现共享电动汽车的出行情况,因此需要

建立一个合理的筛选机制将这部分数据删除。

通过MATLAB软件设计多重循环while语句和for语句,运用flag作为跳出循环的标识。设计的逻辑语句的流程图如图1所示。

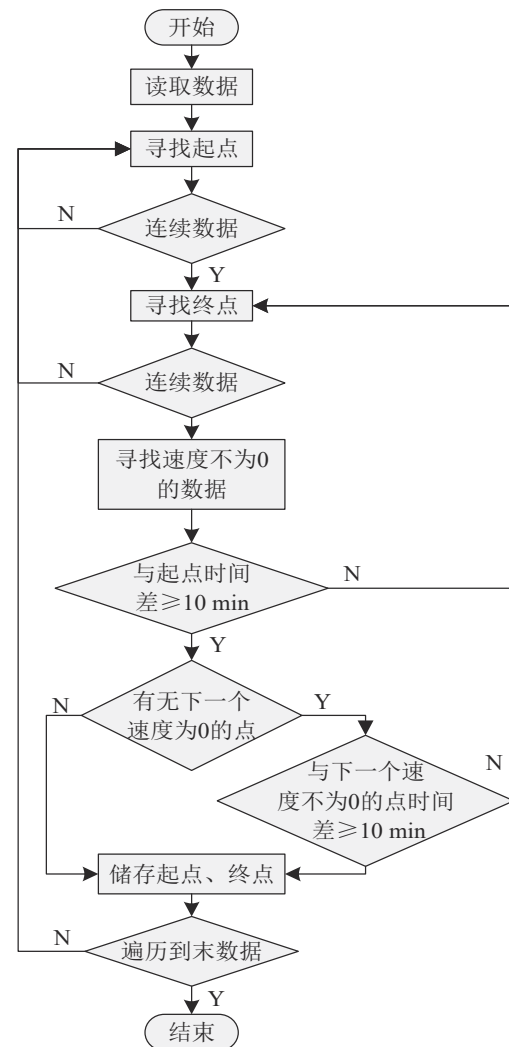


图1 有效出行数据段中起始点与终止点提取方法
Fig.1 Method for extracting starting and ending points in valid traveling data segment

1.2 拟合计算

通过进一步调查得知,城市车辆的出行特征与其出行时间有关。将共享电动汽车的数据依据所处日期、所处时间段分类别进行分析,在四维图新交通指数分析平台网站获得上海市每天按小时更新的平均车速,再将共享电动汽车的单次出行平均速度与上海市平均车速加以比较,从而进一步分析得到其出行特征。

1.2.1 基准数据组选取

已知共享电动汽车单次出行中初始位置与终止位置的经纬度值,可以运用基于球面余弦公式计算

出初始位置与终止位置两地之间的直线距离^[9],其计算公式如下:

$$\widehat{AB} = R \cdot \arccos [\cos A_w \cos B_w \cos(B_j - A_j) + \sin A_w \sin B_w] \quad (1)$$

式中: R 为地球半径, 本文取 6378.137 km; A_j 和 A_w 分别表示起始点 A 的经度和纬度; B_j 和 B_w 分别表示终止点 B 的经度和纬度。

从有效出行数据中随机选出分布在不同日期、不同时段 50 组数据信息, 根据上述公式计算出它们对应的直线距离。再借助百度地图开放平台中的坐标拾取器, 通过坐标反查来得到出行数据中初始与终止位置在上海市地图中的实际位置, 从而记录对应的位置信息名称。再运用手机地图的导航功能, 输入起点与终点所对应的位置信息名称, 并选择与出行数据信息中启动时间最近的时间点来进行模拟导航, 从而可以得出该时段匹配出的最佳路径规划, 与此同时可以获得此次出行的实际路程距离。

1.2.2 多项式曲线拟合

主要基于 MATLAB 软件拟合工具箱 (Curve Fitting), 实现多项式曲线拟合。根据式 (1) 编写直接距离计算的代码, 计算结果存入 Excel 表。根据上文得到的 50 组真实数据所对应的真实距离, 选择多项式逼近的拟合方法来得出计算路程距离公式。最终得到的四阶多项式函数如下 (保留四位有效数字):

$$y = -1.529 \times 10^{-5} x^4 + 1.314 \times 10^{-3} x^3 - 0.04892 x^2 + 2.104 x - 1.644 \quad (2)$$

式中: 自变量 x 为上文计算得出的初始位置与终止位置实际直线距离; 因变量 y 即为拟合计算得出的路程距离。

运用 roots 函数可以求得该多项式函数零点的自变量值, 此时 $x=0.7958$ 。经调查分析可知此情形为用户在同一网点进行取还车, 可判定为小概率事件, 故在本文研究中将直线距离小于 0.7958 km 的数据筛去, 不引入后续的分析讨论。

1.3 数据分析

据调查可知, 城市路网的交通状态与车辆的出行时间有较大关系, 道路堵塞情况普遍集中在工作日的早高峰、晚高峰时期。因此, 本文将上一节提取处理后的数据再进一步按照工作日、非工作日 (双休日与节假日) 筛选, 如图 2、图 3 所示。

运用共享电动汽车的出行数据可以统计得出车辆运行路程距离的特征情况, 如图 4 所示。从数据

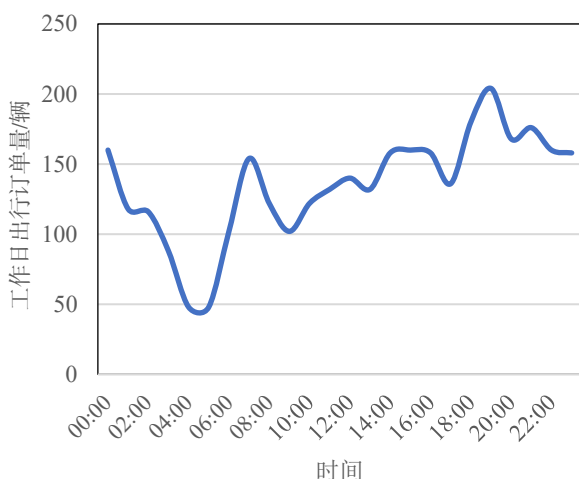


图2 工作日共享电动汽车出行订单量时间分布

Fig.2 Time distribution of traveling orders of shared electric vehicles on weekdays

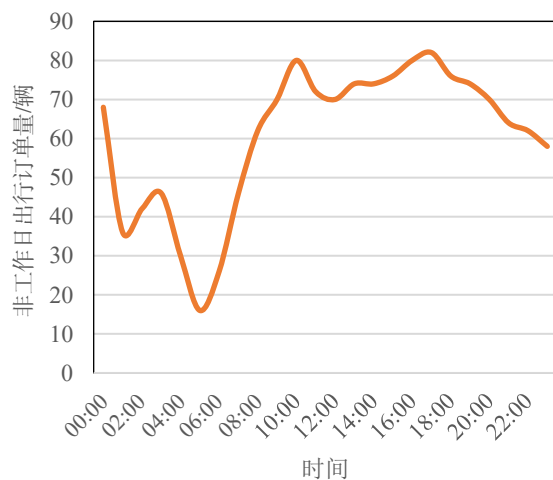


图3 非工作日共享电动汽车出行订单量时间分布

Fig.3 Time distribution of traveling orders of shared electric vehicles on non-working days

中可以明显得出, 用户出行路程距离在 0~15 km 的订单数量较大, 分别占工作日和节假日总订单量的 57.2% 和 54.0%, 可见用户更倾向于选择共享电动汽车作为短途的出行工具。与工作日随着路程距离变大而出行订单量逐渐减少的情况相比不同的是, 在节假日期间, 25~30 km 的中长距离的需求量出现小范围的波峰, 可见用户在非工作日期间会将共享电动汽车作为城市内较长距离出行休闲的选择。

根据常规时段上海市出租车和网约车 (以滴滴为例) 的计价规则, 通过测算绘制集中交通出行方式出行距离-出行费用的曲线如图 5 所示。由图 5 可见, 对于 0~15 km 的出行距离, 共享电动汽车的经济性已经相当明显, 但此阶段由于总价较低, 用户对经

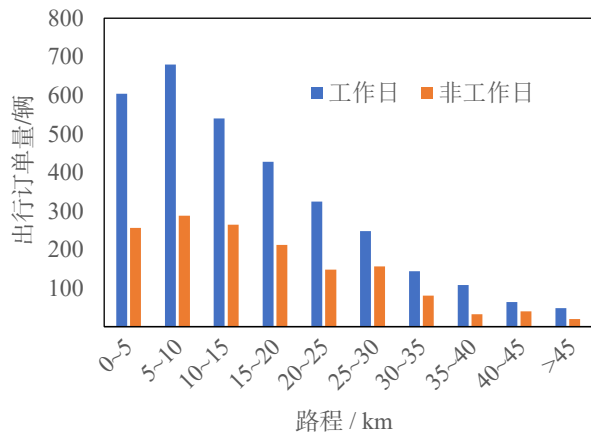


图4 共享电动汽车的出行订单量按路程分布

Fig.4 Distribution of travel orders of shared electric vehicles by distance

济性的敏感度较低;当出行距离大于15 km时,共享电动汽车经济性优势十分突出,由于费用总价较高,用户的价格敏感度会提高,因此共享电动汽车会是最佳出行选择。而对于夜晚23:00至次日05:00的时间段,出租车和网约车会进一步提升里程单价,且在夜间出租车和网约车的数量会大幅减少,等待时间也会明显增加。

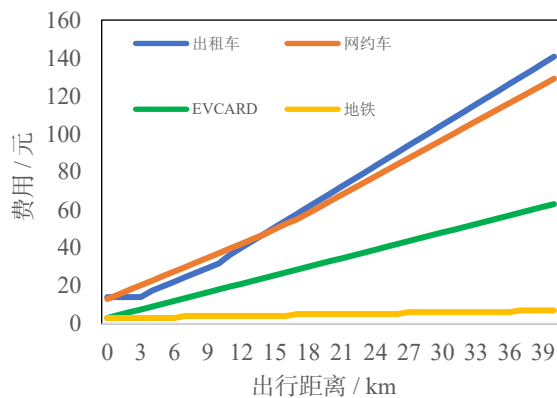


图5 几种交通出行方式出行距离与出行费用情况

Fig.5 Travel distance and travel cost of several transportation modes

2 路口共享电动汽车出行量预测

2.1 路口基本特征情况的采集

选择上海安亭曹安公路东起嘉松北路西至墨玉路作为本文的研究对象。这一路段中,嘉松北路—曹安公路、绿苑路—曹安公路、安虹路—曹安公路、于田路—曹安公路、墨玉路—曹安公路这5个交叉路口附近均有EVCARD平台设立的取还车网点,且每个路口区域内网点的总的停车位数量、充电桩数

量均超过10个。

针对已经选择的5个路口,进行工作日和非工作日的早晚高峰时间以及其他时间的交通情况定点采集调查,通过多次观看拍摄视频的方法进行真实数据的获取。忽略自行车以及行人对机动车道车辆行驶的影响因素,将车辆类型分为汽车、公交车(包括客车)、货车、EVCARD汽车等4种车型。与此同时,为保证采集的数据能够相对真实的反映各个路口的交通情况,同一路口的同一时间段在不同日期进行摄录,每次摄录时间不少于1 h。以墨玉路—曹安公路路口的早高峰时段为例,实地考察车道的特征情况,具体数据情况如表3、表4所示。

表3 墨玉路—曹安公路早高峰交通数据1

Tab.3 Morning rush hour traffic data of Moyu Road-Cao'an Highway 1

车流方向	信号灯配时/s (直行/左转)	直行 车辆数	左转 车辆数	右转 车辆数
曹安公路西向东	35 / 35	350	192	679
曹安公路东向西	35 / 35	96	85	163
墨玉路南向北	90 / 80	676	344	92
墨玉路北向南	90 / 80	664	313	60

表4 墨玉路—曹安公路早高峰交通数据2

Tab.4 Morning rush hour traffic data of Moyu Road-Cao'an Highway 2

车流方向	总车辆数	汽车数	货车数	公交车数	EVCARD 车数
曹安公路西向东	1221	1104	24	64	29
曹安公路东向西	344	292	12	28	12
墨玉路南向北	1112	1040	17	32	23
墨玉路北向南	1037	952	4	52	29

2.2 基于 Vissim 模拟真实路网情况

2.2.1 基础路网建立与交通环境设置

基于PTV-Vissim仿真建模工具对路网情况进行建模和分析。依据实测的路口车道情况绘制四个方向的路段,在十字路口附近的实线等候区域添加车道标识(直行、左转、右转符号),以便后续的参数设置。为体现交通的真实情况,在路段绘制过程中将交通道路上接近信号灯处车道增多的情况加以考虑。在连接各方向路段的过程中,根据最近原则进行绘制。在Vissim中,定义沿着路段上的车流行驶方向,最右侧的车道记为车道1,则最近原则表示为:曹安公路西向东右转的车辆应从西向东进口的车道1转入嘉松北路北向南出口的车道1。

其次根据交通转向优先权,借助路网对象模块中的优先规则选项设置行驶的优先级。进一步依据信号灯的配时周期,设定信号控制机的信号灯组以

及信号配时方案,并在各路段停止线位置附近安置信号灯头。除此之外,这基本数据中设置车辆类型和车辆类别(汽车黑色、货车蓝色、公交车橙色、EVCARD绿色),运用采集到每小时的车流量数据设置车辆构成、车辆输入以及静态车辆路径(各个通行方向不同转向的占比)。在设置静态车辆路径时,需考虑接近路口时的车道数量减少以及相邻车道间的虚线变为不可变道的实线这两种情况。

2.2.2 基于实际数据的Vissim路网模拟

通过以上路网绘制方法将所选的5个路口进行基础路网建立和交通环境设置,并将不同时段的出行数据作为路网的输入参数,每个路口输入参数为早高峰、晚高峰、其他出行时间。PTV-Vissim常用的3大类评价指标有断面交通流特征参数、路段交通流特征参数、排队特征参数,如表5所示。

表5 PTV-Vissim 仿真评价指标体系

Tab.5 PTV-Vissim simulation evaluation index system

参数名称	采集途径	指标所包含的输出量
断面交通流特征参数	数据采集器	断面流量
		断面平均加速度 断面平均车速等
路段交通流特征参数	车辆出行时间采集器	路段流量
		通过路段的平均出行时间 平均停车延误时间 停车次数 人均延误时间等
排队特征参数	车辆出行时间采集器	平均排队长度 最大排队长度 排队车辆数等

进一步分析可知,断面交通流特征参数是针对于路段中的某一断面(某一位置)处的特征情况,以微观的测量结果来表现特殊断面的交通状态。排队特征参数所体现的排队长度与车辆类型的占比有较大关系,并且仅从排队长度和排队车辆数无法客观表示路段的通行状态。

考虑到路口信号灯配时方案会对各个路段的通行状态产生较大影响,并且在众多因素中驾驶员对行车过程中的等待时间较为敏感,因此本文选用路段交通特征参数中的延误时间作为路网交通状态的评判标准。延误时间是指实际行程时间与理想行程时间的差值,且延误的时间测量由一个或几个行程时间的测量来定义。在评估模块的测量定义中选择延误测量,并设置车辆出行时间。

设置车辆出行时间和延误测量后需要进行仿真参数设置:设置仿真时间,即输出数据最大时间,仿真运行时段长度;将仿真精度设置为最大值,即20时间步长/仿真秒;设置仿真运行速度,也设置为最

大值,即20仿真秒/s;其他仿真参数保持系统默认的初始值,除此之外也要进行评估的配置设置。在结果特征属性中勾选出车辆行程时间与延误这两个收集数据指标,修改评估的停止时间以及时间间隔。由采集的各路口信号灯配时可知,信号灯的周期时间一般为2~3 min,因此时间间隔选择600 s,使得输出数据可以可靠反映交通情况。最后,在评估模块中的结果列表里选择延误。

完成上述评价设置之后,开始进行各路口的交通情况模拟。Vissim直接输出的延误结果如图6所示。其中静态停车延误是指车辆在交叉口范围内静止状态产生的延误,车辆延误则是指车辆受信号影响的行驶时间与自由流状态下行驶时间的差值,两者均取设定时间间隔内所有车辆延误时间的平均值。车辆延误包含静态停车延误,因此本文选择车辆延误作为输出参数,其单位为秒,保留两位小数。

延误结果									
数量	仿真	时间间隔	延误测量	静态停车延误	停车次数	车辆延误	车辆	人均延误	人数
1	2	0-600	46: 曹安公路向西向东直行	85.04	0.90	93.44	63	93.44	63
2	2	0-600	47: 曹安公路向西向东右转	0.00	0.00	0.52	92	0.52	92
3	2	0-600	48: 曹安公路向西向东左转	82.91	0.75	91.90	28	91.90	28
4	2	0-600	49: 曹安公路向西向西直行	67.82	0.81	74.14	16	74.14	16
5	2	0-600	50: 曹安公路向西向西右转	25.16	0.50	29.66	16	29.66	16
6	2	0-600	51: 曹安公路向西向西左转	57.06	0.67	63.29	15	63.29	15
7	2	0-600	52: 墨玉路向北直行	39.52	0.61	45.22	119	45.22	119
8	2	0-600	53: 墨玉路向北右转	32.60	0.63	39.08	19	39.08	19
9	2	0-600	54: 墨玉路向北左转	61.71	0.78	69.90	23	69.90	23
10	2	0-600	55: 墨玉路向北向南直行	48.19	0.69	54.95	110	54.95	110
11	2	0-600	56: 墨玉路向北向南右转	36.60	0.79	43.67	14	43.67	14
12	2	0-600	57: 墨玉路向北向南左转	54.57	0.71	61.44	34	61.44	34
13	2	600-1200	46: 曹安公路向西向东直行	99.02	0.96	107.41	45	107.41	45
14	2	600-1200	47: 曹安公路向西向东右转	0.00	0.00	0.66	117	0.66	117
15	2	600-1200	48: 曹安公路向西向东左转	79.25	0.84	87.63	25	87.63	25
16	2	600-1200	49: 曹安公路向西向西直行	96.67	0.90	104.90	20	104.90	20
17	2	600-1200	50: 曹安公路向西向西右转	77.48	0.81	85.19	16	85.19	16
18	2	600-1200	51: 曹安公路向西向西左转	76.23	0.91	82.86	11	82.86	11
19	2	600-1200	52: 墨玉路向北直行	46.76	0.62	53.17	108	53.17	108
20	2	600-1200	53: 墨玉路向北右转	38.97	0.73	45.42	11	45.42	11
21	2	600-1200	54: 墨玉路向北左转	48.83	0.69	55.51	39	55.51	39
22	2	600-1200	55: 墨玉路向北向南直行	43.19	0.59	49.03	99	49.03	99
23	2	600-1200	56: 墨玉路向北向南右转	22.40	0.40	26.11	10	26.11	10
24	2	600-1200	57: 墨玉路向北向南左转	67.45	0.83	74.80	58	74.80	58
25	2	1200-1800	46: 曹安公路向西向东直行	119.18	1.40	131.74	75	131.74	75
26	2	1200-1800	47: 曹安公路向西向东右转	7.58	0.52	20.26	100	20.26	100

图6 墨玉路—曹安公路早高峰延误结果(部分)

Fig.6 Delay results of Moyu Road-Cao'an Highway in morning rush hours (part)

根据研究表明,人们在路口信号灯红灯处可忍受的等待时间约为70~90 s^[10-11],因此,将各路口的车辆延误时间进行统计,以70 s作为评判标准。与此同时,为减少输出数据的随机性,将1 h内超过20 min出现70 s以上延迟时间的路段行驶方向定义为“拥堵方向”。在统计过程中,不计入1 h内单次出现的超过70 s的数据,从而得出各路口在实际情况下不同时段交通通行状态。各路口不同时段交通出行情况如表6所示。

由表6可见,在工作日早晚高峰时期,主要枢纽路口的车流量明显大于丁字路口及学校路段,所包含“拥堵方向”数量大致占路口所有通行方向的50%

表 6 各路口不同时段实际交通通行情况
Tab.6 Actual traffic conditions in different periods at each intersection

与曹安公路 相交路口	早高峰		晚高峰		其他时间	
	拥堵方 向车数	延误 最值/s	拥堵方 向车数	延误 最值/s	拥堵方 向数量	延误 最值/s
嘉松北路	5	111.80	3	110.55	0	68.11
绿苑路	0	58.58	0	68.49	0	40.34
安虹路	0	44.41	0	41.70	0	32.74
于田路	0	63.27	1	92.99	0	55.21
墨玉路	5	115.40	1	94.59	0	69.17

左右,且晚高峰路网状态相对而言优于早高峰。而在其他时间,各路口的通行状况都表现较好,一步统计可以发现,存在一些路口,其包含的行驶方向评估得出的延误时间远小于 70 s,如安虹路—曹安公路路口和绿苑路—曹安公路路口都属于理想状态。

2.3 模拟仿真共享电动汽车路口存存量

2.3.1 单一路口最大出行量预测

根据在各路口的实际采集数据,可获得各路口每个时段共享电动汽车的相对流量。路网车辆出现最值的情况出现在高峰时期,因此仿真模拟早晚高峰的情况,预测出所选路口共享电动汽车的最大出行量^[12]。由上一节模拟路网所得的交通出行情况可知,例如嘉松北路—曹安公路路口在早晚高峰时期已经存在“拥堵方向”,因此对于这类路口,在“拥堵方向”1 小时内的平均延误时间不超过 120 s 的前提下,增大共享电动汽车在各路段的相对流量,且一并增大各个路段总输入量,使得在一个小时的时间内再出现某一方向变成“拥堵方向”,即定义此时的共享电动汽车数量为在该路口的最大出行量;对于绿苑路—曹安公路路口,其早晚高峰的实际交通出行情况中,未出现“拥堵方向”,因此按比例增大共享电动汽车数量,直到路口出现第一个“拥堵方向”,即将此时的共享电动汽车数量认定为该路口的最大出行量;而对于安虹路这一丁字路口,属于交通情况较为特殊的路口,故在单一路口预测中不加以仿真。

针对其余 4 个路口,基于二分法思想,从增大 50% 的共享电动汽车开始仿真试运行,遵循车辆数保留整数且调整的百分比保留整数。首先修改 Vissim 输入参数中车辆构成中共享电动汽车的相对车流,在原有的基础上增大 50%,其次在车辆输入的总流量中也增加相同的数值,然后运行仿真,再将仿真得到的输出结果生成 Excel 文件。运用筛选功能将车辆延误大于 70 s 的数据条目筛选得出,与路口实际情况进行对比,在保证已有的“拥堵方向”1 h 内的平均延误时间不超过 120 s 的条件下,若未出现新

的“拥堵方向”,则将初始共享电动汽车数据增大 100%,重复进行仿真;若出现超过一个新的“拥堵方向”,则将初始共享电动汽车数据增大 25%,重复进行仿真;若刚好出现一个新的“拥堵方向”,则小范围调整增大的百分比,最终选取使得新“拥堵方向”的延误时间大于且最接近 70 s 的数值。

以嘉松北路-曹安公路为例,通过多次反复仿真,得出的单一路口最大出行量的结果如表 7、表 8 所示,其中拥堵方向一列中括号内为数量增大后产生的新“拥堵方向”。

表 7 嘉松北路—曹安公路共享电动汽车高峰时期最大出行量
Tab.7 Maximum travel volume of shared electric vehicles on Jiasong North Road-Cao'an Highway during rush hours

高峰时期 高峰路段	初始出 行车数	增大百 分比/%	最大出 行车数	拥堵方向
早高峰嘉松北路南向北	2	46	3	左转
早高峰嘉松北路北向南	14	46	20	左转
早高峰曹安公路西向东	14	46	20	直行左转
早高峰曹安公路东向西	3	46	4	直行左转
晚高峰嘉松北路南向北	2	27	3	左转
晚高峰嘉松北路北向南	9	27	11	左转
晚高峰曹安公路西向东	8	27	10	左转
晚高峰曹安公路东向西	3	27	4	左转

表 8 墨玉路—曹安公路共享电动汽车高峰时期最大出行量
Tab.8 Maximum travel volume of shared electric vehicles on Moyu Road-Cao'an Highway during rush hours

高峰时期 与路段	初始出 行车数	增大百 分比/%	最大出 行车数	拥堵方向
早高峰墨玉路南向北	23	32	30	左转
早高峰墨玉路北向南	29	32	38	无
早高峰曹安公路西向东	29	32	38	直行左转
早高峰曹安公路东向西	12	32	16	直行左右转
晚高峰墨玉路南向北	23	23	28	无
晚高峰墨玉路北向南	19	23	23	无
晚高峰曹安公路西向东	15	23	18	直行左转
晚高峰曹安公路东向西	18	23	22	无

由仿真得到的结果可知,主要枢纽路口在不会造成新的“拥堵方向”、不增加其他类型车辆的前提下,早高峰时期嘉松北路路口能在 1 h 内增加不超过 15 辆 EVCARD 汽车,墨玉路路口由于实际情况共享电动汽车的相对流量较大,因此最多可以在单位小时内增加 30 辆车;在晚高峰时期,两路口在 1 h 内可以增加的共享电动汽车为 6 辆和 17 辆。但早高峰时期以上两个路口各有 5 个方向已经是“拥堵方向”,因此,为减轻路网负担,不建议在高峰时期在以上两个路口附近增加共享电动汽车的投入,也建议

用户尽可能避开以上两个路口绕行通过。

2.3.2 路网最大出行量预测

运用路网对象模块路段的连接器功能将之前绘制的5个路口在同一个文件中根据地图的道路规划进行连接,形成曹安公路东起嘉松北路西至墨玉路的大路网,并将中间路段曹安公路东西方向的车辆输入删除,在路网中仅留下11个方向的车辆输入,其他输入参数不变,信号灯配时情况不变。连接后的路网情况如图7、图8所示。

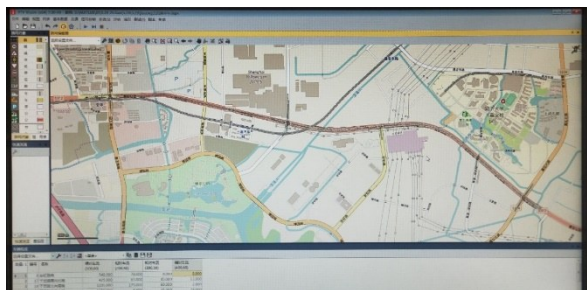


图7 地图模块开启时的路网绘制情况

Fig.7 Road network drawing when the map module is turned on

由于此时曹安公路东西方向上仅各有一处车辆输入,从墨玉路—曹安公路路口向嘉松北路方向行驶的车辆需要经历一定时间才能到达嘉松北路—曹安公路路口,因此会导致初始一段时间部分行驶方向所采集的输出数据量有一定的误差。经高德地图的导航查询可知,这段路程的行驶时间大致为10~20 min,为尽可能消除这些误差,保证得到较为可靠

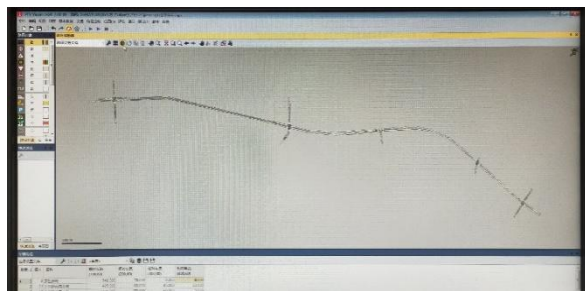


图8 地图模块关闭时的路网绘制情况

Fig.8 Road network drawing when the map module is turned off

的仿真数据,将仿真参数的仿真时间设置为4 800 s,评估时间从0~3 600 s修改为0~4 800 s,并在后续数据处理中除去前1 200 s的数据,从而得到路网仿真1 h的输出延误时间数据。运用2.3.1给出的单一路口仿真方法,模拟得到路网在高峰时间的“拥堵方向”,并预测出共享电动汽车最大出行量。所得到的路网交通情况和预测结果如表9、表10所示。

表9 路网不同时段实际交通通行情况

Tab.9 Actual traffic conditions in different periods of road network

与曹安公路 相交路口	早高峰		晚高峰		其他时间	
	拥堵方 向车数	延误 最值/s	拥堵方 向车数	延误 最值/s	拥堵方 向车数	延误 最值/s
嘉松北路	5	119.23	3	91.05	0	68.88
绿苑路	0	62.74	0	65.50	0	44.95
安虹路	0	50.72	0	68.02	0	50.08
于田路	0	66.88	1	85.54	0	51.49
墨玉路	5	95.94	1	95.93	0	67.21

表10 路网共享电动汽车高峰时期最大出行量

Tab.10 Maximum traveling volume of shared electric vehicles by road network during rush hours

高峰时期	初始出行车数	增加百分比/%	最大出行车数	拥堵方向
早高峰	136	33	181	嘉松北路南向北左转;曹安公路西向东1直行;曹安公路西向东1左转;曹安公路东向西1直行;曹安公路东向西1左转(墨玉路南向北左转);曹安公路西向东5直行;曹安公路西向东5左转;曹安公路东向西5直行;曹安公路东向西5左转;曹安公路东向西5右转
晚高峰	100	21	123	嘉松北路南向北左转;曹安公路西向东1左转;曹安公路东向西1左转;于田路北向南左转;曹安公路西向东5直行;曹安公路西向东5左转

将路网仿真模拟的输出结果与单一路口的仿真模拟得到的输出结果比较发现,早晚高峰“拥堵方向”大致相同,但由于仿真的随机性,各路口延误时间的最值有所不同。对于整个大路网而言,保证其他车辆数量不变、静态选择路径的分配不变的、信号配时不变、不新增“拥堵方向”的前提下,共享电动汽

车在早高峰的输入最值为181辆,晚高峰的输入最值为123辆,较现有的共享电动汽车输入值分别有33%和21%的裕量。因为早晚高峰为全天路网饱和度最大时段,因此可以认为,在不恶化现有交通行驶状况的前提下,上路行驶的共享电动汽车规模至少还可以增加20%。

3 结论与展望

本文通过对共享电动汽车实际出行数据的提取,基于MATLAB软件的数据处理方法,对共享电动汽车交通出行特征进行了研究。在此基础上使用PTV-Vissim仿真建模工具,针对早晚高峰和其他时间搭建了路口的仿真模型,完成了仿真预测实验,在一定程度上验证了共享电动汽车出行特征的分析结果。本文的主要成果如下:

(1) 针对提取有效出行数据的问题,设计了一种基于实际出行场景,借助MATLAB软件从大量共享电动汽车出行数据筛选提取有效数据的方法;

(2) 通过数据分析,得出了共享电动汽车出行时间、出行距离以及出行速度方面的特征情况;

(3) 基于PTV-Vissim仿真,实地摄录采集并统计了基本交通数据,使其作为输入参数,对所选取的路口、路段进行了延误评估;

(4) 进一步设计了预测路口和路段共享电动汽车的最大出行量的方法,并对所选路口、路段进行了仿真预测。

参考文献:

- [1] LI Z, OUYANG M. A win - win marginal rent analysis for operator and consumer under battery leasing mode in China electric vehicle market[J]. *Energy Policy*, 2011, 39(6): 3222.
- [2] 张中伟. 推动汽车分时租赁健康发展的若干建议[J]. *交通与运输*, 2017, 33(04): 27.
ZHANG Zhongwei. Several suggestions to promote the healthy development of car time-sharing leasing [J]. *Traffic and Transportation*, 2017, 33(4): 27.
- [3] WANG L, LIN S M, YANG J F, *et al.* Dynamic traffic congestion simulation and dissipation control based on traffic flow theory model and neural network data calibration algorithm [J]. *Complexity*, 2017, 2017: 1.
- [4] LE VINE S, POLAK J. Introduction to special issue: new directions in shared-mobility research [J]. *Transportation*, 2015, 42(3): 407.
- [5] ZHANG X, RAO R. A benefit analysis of electric vehicle battery swapping and leasing modes in China [J]. *Emerging Markets Finance and Trade*, 2016, 52(6): 1414.
- [6] MIAO R, HUANG W, PEI D, *et al.* Research on lease and sale of electric vehicles based on value engineering[J]. *International Journal of Production Research*, 2016, 54(18): 5361.
- [7] SEN B, NOORI M, TATARI O. Will corporate average fuel economy (CAFE) standard help? modeling CAFE's impact on market share of electric vehicles [J]. *Energy Policy*, 2017, 109: 279.
- [8] LI Y, LIM M K, TAN Y, *et al.* Sharing economy to improve routing for urban logistics distribution using electric vehicles[J]. *Conservation and Recycling*, 2020, 153: 104585.
- [9] 甘大旺. 巴塔尼的球面余弦定理及其变通运用[J]. *数学教学*, 2017(9): 19.
GAN Dawang. Bategnius' spherical cosine theorem and its application[J]. *Mathematics teaching*, 2017(9): 19.
- [10] 李明明. 基于心理时间行人过街等待时间阈值研究[J]. *重庆交通大学学报(自然科学版)*, 2012, 31(S1): 612.
LI Mingming. Threshold of waiting-time for pedestrian crossing based on psychological Time[J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science)*, 2012, 31(S1): 612.
- [11] 刘光新,李克平,孙剑. 信号控制交叉口行人过街等待时间研究[J]. *中国安全科学学报*, 2009, 19(9): 159.
LIU Guangxin, LI Keping, SUN Jian. Research on pedestrian's waiting time at signal control intersection [J]. *China Safety Science Journal*, 2009, 19(9): 159.
- [12] 李润梅,汤淑明. 饱和路网中动态交通分配与路口控制一体化建模研究[J]. *系统仿真学报*, 2007(8): 1811.
LI Runhai, TANG Shuming. Integrative modeling study of dynamic traffic assignment and traffic control in saturated network[J]. *Journal of System Simulation*, 2007(8): 1811.