

大数据下宁波市公共自行车出行特征分析

周晖杰^{1,2}, 李 南¹, 敖丽红², 袁红清²

(1.南京航空航天大学 经济与管理学院, 江苏 南京 211106; 2.宁波大学 科学技术学院, 浙江 宁波 315212)

摘要: 通过数据分析来了解宁波市公共自行车系统运行规律和机理. 结果表明: 全市公共自行车租还车时间服从对数正态分布, 其均值为 17.19 min, 部分租赁点存在潮汐现象. 江北和镇海租赁点的布局都具有“小集群”不成网特征, 平均租还车时间分别为最长和最短; 通过建立市民出行偏好的效用函数, 解释了它们在租还车时间上的差异. 最后, 针对“租赁点布局”和“潮汐现象”等问题提出了租赁点布局成网化发展和分级调度优化管理的建议.

关键词: 公共自行车; 大数据; 对数正态分布; 效用函数; 潮汐现象

中图分类号: U491.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2017) 06-0007-05

公共自行车起源于欧洲, 迅速发展在中国, 通过与公共交通无缝对接, 缓解交通末端“最后一公里”难题, 实现低碳出行, 美化城市. 截止 2014 年 9 月, 我国公共自行车总量达到 43 万辆, 超过全球的一半. 宁波市公共自行车服务系统于 2013 年 9 月启动, 目前车辆数达到 2.1 万辆, 共办理租赁 IC 卡近 30 万张, 总租车量达 3 000 万次, 日最高租车量超 13 万余次. 随着公共自行车系统的迅速发展, 如何构建合理、高效的运营系统被人们广泛关注.

目前, 关于公共自行车系统的理论研究还不成熟, 没有形成完善体系^[1]. 国内外科研人员对公共自行车问题研究主要集中在网点选址规划^[2]、站点调度^[3-5]、租赁系统开发^[6-7]、运营模式^[8]、市民

满意度调查^[9-11]等内容. 研究方式多以抽样问卷调查, 以小样本推断总体, 存在不确定因素. 若以运营系统大数据为基础, 研究系统运行规律和机理, 则更有价值和意义, 但目前此方面研究鲜见.

1 宁波市公共自行车系统运营情况

网点数量、每月新使用者增量以及日周转率等指标是反映公共自行车系统优劣的重要指标^[12]. 宁波市公共自行车运营公司提供了 2013 年 10 月至 2015 年 1 月租还车数据信息约 1 500 万条, 包括使用者信息、开卡日期、网点租用电子卡号、租还车网点和桩位、网点借用车号、网点租还车时间、网点规模和运营月份等信息内容. 从 2013 年 9 月系

表 1 宁波市公共自行车网点数、每月新使用者增量、日周转率统计情况

时间	网点数/个	新增量/人	日均周转率	时间	网点数/个	新增量/人	日均周转率
2013 年 10 月	485	11 337	1.93	2014 年 6 月	602	28 089	6.30
2013 年 11 月	504	11 256	2.11	2014 年 7 月	611	20 545	6.57
2013 年 12 月	523	16 664	2.13	2014 年 8 月	615	16 459	6.22
2014 年 1 月	574	28 694	2.92	2014 年 9 月	644	17 018	6.77
2014 年 2 月	590	23 321	2.52	2014 年 10 月	693	19 123	7.12
2014 年 3 月	596	33 626	5.20	2014 年 11 月	767	16 254	6.47
2014 年 4 月	600	32 796	5.60	2014 年 12 月	840	13 089	5.82
2014 年 5 月	623	28 933	6.23	2015 年 1 月	912	10 102	5.12

收稿日期: 2016-11-28.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 宁波市哲学社会科学规划课题 (G17-ZXLL58).

第一作者: 周晖杰 (1979-), 男, 浙江奉化人, 在读博士生/副教授, 主要研究方向: 能源经济及计量经济分析. E-mail: zhouhuijie@nbu.edu.cn

统开始运营到 2015 年初, 其网点数、每月新使用者增量、日周转率等指标的统计结果见表 1.

对代表不同涵义的网点数、每月新使用者增量、日周转率等指标作无量纲化处理:

$$\bar{y} = (y - y_{\min}) / (y_{\max} - y_{\min}),$$

式中, $y_{\min}, y_{\max}, y$ 和 $\bar{y}$ 为某指标最小值、最大值、实际数值和无量纲化后数值. 经无量纲处理后, 网点数、新使用者增量、日周转率变化趋势如图 1 所示. 日周转率是衡量自行车使用效率的最重要指标之一, 从图中可见, 3 条线从 2014 年 8 月至 2014 年 10 月的趋势一致向上, 然而从 2014 年 10 月至 2015 年 1 月的趋势表现不一. 网点数量在 2014 年内从 574 个迅速增加到 840 个, 增长率达 46.34%, 而新使用者增量和日周转率在年底显著下降^[12].

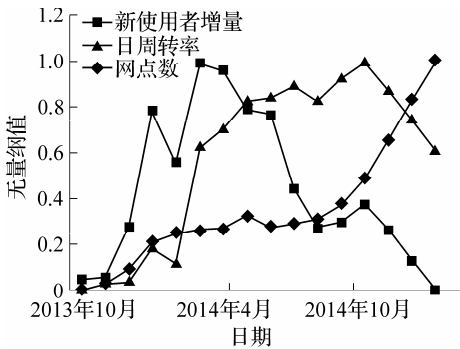


图1 网点数、新使用者增量、日周转率变化趋势

以 2014 年 12 月租还车数据信息为例, 设第 i 个网点在该月内的租车次数为 n_i 车次, 该网点的

桩位数为 m_i 个, 2014 年 12 月为 31 d, 则该网点的日周转率为 $r_i = n_i / (31m_i)$, 全市所有网点的平均日周转率为 $r = (\sum_{i=1}^n r_i) / n$, 其中 n 为网点个数.

计算可得 12 月份全市平均日周转率 $r = 4.045$, 日周转率低于 1 的网点达 143 个, 占 16.96%; 低于 0.5 的网点占 9.73%, 此类网点可以理解为一半的自行车在 1 d 内被使用了 1 次, 而另一半的自行车没有被使用, 犹如“僵尸”的网点. 从表 2 的日周转率统计看, 网点日周转率的两极分化现象明显, 运营效率不理想的网点(即日周转率在 4 及以下)有一半以上, 占 55.47%, 而超负载运营的网点(即日周转率在 12 以上)也有 5.36%.

2 租还车时间分布

出行时间是选择公共自行车的重要因素. 还车时间减借车时间得到使用者用车时间, 统计各区 2014 年 12 月约 100 万条租还车数据信息(表 3), 用 MATLAB 软件中分布拟合工具箱(difftool)分析与统计租还车时间的频次, 结果如图 2 所示.

从表 3 和图 2 得出以下几个结论: (1)全市有 10.73% 车辆租还车时间在 1 min 以内. 由于宁波市核心区和非核心区租赁点之间的距离分别为 400~500 m 和 800~1 000 m, 因此这些租还车属于借车不成功, 部分是因为电子刷卡系统的灵敏性, 部分是因为租车者操作不当, 也有部分是因为使用者刷卡后又不想借用. (2)江北区的平均租还车时间

表 2 2014 年 12 月网点周转日分布

项目	日周转率							
	[0, 0.5]	(0.5, 1]	(1, 2]	(2, 3]	(3, 4]	(4, 7]	(7, 12]	(12, -)
网点数/个	82	61	123	113	87	204	125	45
网点比例/%	9.76	7.26	14.64	13.45	10.36	24.29	14.88	5.36
累计比例/%	9.76	17.02	31.66	45.11	55.47	79.76	94.64	100

表 3 宁波市(6 区)2014 年 12 月公共自行车租还车时间分析

区域	租车量/辆	有效租车量/辆	有效率/%	1 h 内租车量/辆	1 h 内租车率/%	平均还车时间/min	最长还车时间/h
海曙	883 949	784 020	88.70	765 000	97.57	17.37	23.983
江东	745 680	667 642	89.53	650 845	97.80	17.57	23.967
江北	304 333	266 708	87.64	260 284	97.90	17.92	23.850
鄞州	351 170	311 681	88.76	304 074	97.56	17.24	23.933
北仑	213 372	197 363	92.50	192 925	97.50	16.02	23.667
镇海	226 188	204 839	90.56	199 340	97.32	15.32	23.850
宁波	2 724 692	2 432 253	89.27	2 372 468	97.54	17.19	23.983

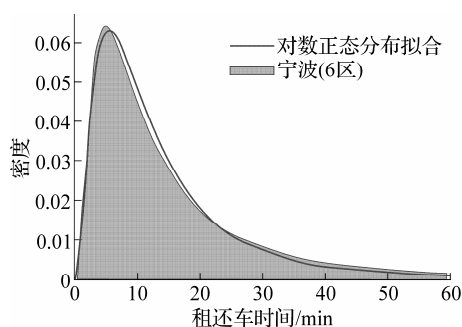


图2 2014年12月份全市公共自行车租还车时间分布
最长,原因是江北区租赁点相对比较分散,核心片区、姚江片区、甬江片区、洪塘片区等自行车区域具有“小集群”不成网特征。(3)6个区在1h内租还车率都在97.5%左右。(4)当用车时间较短时,市民用车频次随时间的增长而增长,在约6min左右达到最大值,之后频次随时间的增加而减少。(5)平均租还车时间在17.19min。(6)最长租还时间不超过24h。(7)公共自行车租还车时间 X 服从对数正态分布,即:

$$\ln X \sim N(\mu, \sigma^2), \mu = 2.39371, \sigma^2 = 0.793854.$$

概率密度函数为:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}, & x > 0, \\ 0, & x < 0. \end{cases}$$

数字特征为 $E(X) = e^{\mu + \sigma^2/2} = 16.29$, $D(X) = (e^{\sigma^2} - 1)e^{2\mu + \sigma^2} = 321.648$.

3 公共自行车出行效用函数

江北区的平均租还车时间最长(17.92min),而镇海区的平均租还车时间最短(15.32min),显然镇海区也存在招宝山片区、蛟川片区、骆驼片区、庄市片区等自行车区域的“小集群”不成网特征,产生这种现象的主要原因可用效用函数来解释。

效用函数是对市民使用公共自行车获得的综合收益的量化,收益较高时,市民更倾向于使用公共自行车,即效用函数可描述市民选择自行车出行的偏好,其表达式如下:

$$u_0(t) = Q^{-1} \left(\frac{P\{X=t\}}{P\{T=t\}} \right),$$

式中,随机变量 X 表示市民使用公共自行车出行用时; T 表示市民需要出行的时长; $Q^{-1}(t)$ 为标准正态累计分布的反函数。

效用函数拐点的计算,只需求出 $Q^{-1}(t)(t>0)$ 的拐点。由于 T 分布是独立于该问题,因此只需找出 $p\{X=t\}$ 的拐点。因 $\ln X \sim N(\mu, \sigma^2)$,故 $p\{X=t\}$ 的拐点横坐标满足 $(\ln t - \mu)/\sigma = 1$,即拐点的横坐标为 $\hat{t} = e^{\mu + \sigma}$,由此可得效用函数 $u_0(t)$ 拐点的横坐标为 $\hat{t} = e^{\mu + \sigma}$ 。由 $\ln X \sim N(\mu, \sigma^2)$, $\mu = 2.39371$, $\sigma^2 = 0.793854$,可知效用函数 $u_0(t)$ 拐点的横坐标为 $\hat{t} = 26.7$ min,即当出行时间约少于26.7min时,市民更倾向于选择公共自行车出行,反之选择其他交通工具。

从空间分布上看,江北区各“小集群”间相距比较近,出行时间往往少于26.7min,存在较多的市民愿意在不同片区之间骑行公共自行车。而镇海区包含的片区之间相距较远,市民在不同片区的出行更偏向于使用其他交通方式,因此缺少公共自行车在不同片区之间的流动,这在一定程度上缩短了镇海区平均租还车时间。

4 公共自行车租还车量统计

4.1 全市租还车量时段分布

选取2014年5月15日、16日、23日、26日、27日、28日、29日、30日租还车数据,以6:30~23:30每半小时的租还车量进行算术平均统计,得出工作日的全市租还车量时段分布如3图所示。

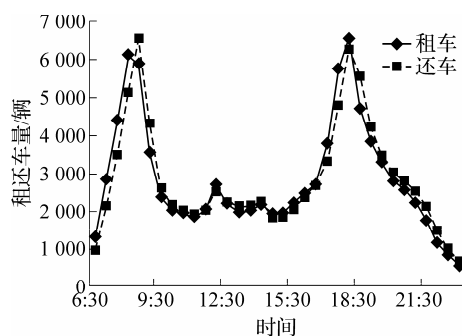


图3 全市工作日租还量时段分布

由图3可见,全市工作日的租还车量分布有以下几个明显特征:(1)工作日存在显著的早晚高峰。(2)工作日租车最高峰为7:30~8:30(占全天业务量12.30%)与17:00~18:00(占全天业务量12.80%);还车最高峰为7:30~8:30(占全天业务量12.20%)与17:30~18:30(占全天业务量11.47%)。

双休日选取2014年5月10日、11日、17日、18日、25日租还车数据,分析图4的双休日全市

租还车量时段分布,显示双休日早高峰不显著。

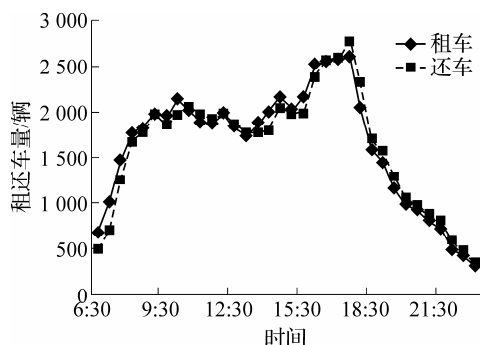


图4 全市双休日租还量时段分布

4.2 潮汐网点租还车量时段分布

分别选取商业办公功能和居住功能的2个网点,它们租还车量分布如图5和图6所示。从图5可见,天一酷购商城网点早晚租还车高峰不同步,7:30~8:30净流入明显,出现车还不了,17:30~18:30净流出明显,出现没车可借。而图6的翠柏菜场客流情况正好相反,早高峰净流出明显,晚高峰净流入明显。这两种现象称之为“潮汐”现象。

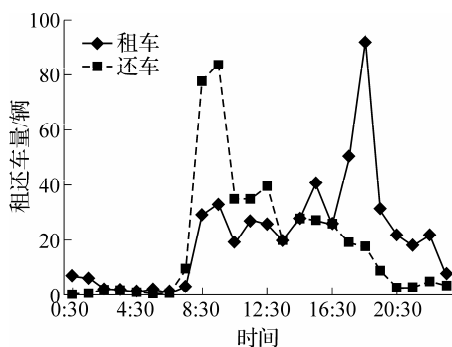


图5 海曙区天一酷购网点

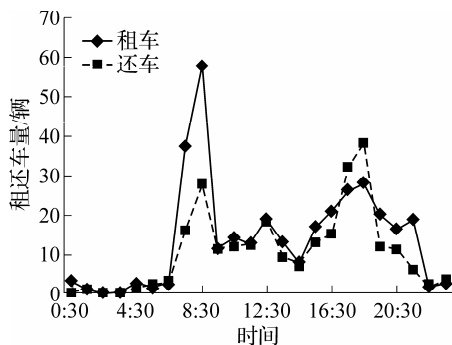


图6 翠柏菜场网点

5 公共自行车系统“租还车难”优化策略

5.1 优化公共自行车租赁点布局

根据租还车时间分布拟合和效用函数分析,

建议优化租赁点布局,减少租还车时间,提高公共自行车使用效率。因此,在网点布局上要重点考虑“小集群”不成网区域租赁点的成网化发展,提高这些租赁点公共自行车的日均周转率。

5.2 建立分级管理优化调度

市民在使用公共自行车时关注最多的是租还车难问题,尤其在工作日的早晚高峰时期最为突出。公共自行车“想借时难还亦难”问题可以通过有效的自行车调度来缓解,按照“优先保障、主要保障、次要保障”原则对租赁点进行调度管理。

(1)成立两级调度指挥中心。一级调度设在公司调度指挥中心,由公司总调度对6区早晚高峰期间各租赁点运行情况进行实时监控,指导、协调、联系各区域协同调度工作。二级调度设在各区域管理处,由各区域经理、区域调度员接受公司总调度的指挥,并根据辖区内高峰时期租赁点租还情况下达实时调度指令。

(2)实施网点分级管理。对公共自行车租赁点可以分成4个等级管理。对于“等级1”低效租赁点,重点在于提高自行车使用效率;对于一些持续性的“僵尸租赁点”可以考虑拆除;对于“等级2”均衡网点和“等级3”高效网点,不用投入太多的人力和物力等资源;而对于“等级4”超负载网点要重点监控和管理,在高于某个阈值时启动调度,条件允许时可以适当增加桩位数。

(3)实施气候差异、节假日差异、日内时间段差异管理。每个租赁点的公共自行车租赁需求存在气候差异、节假日差异和日内时间段差异。当出现极端恶劣天气时,将多余的车辆进行入库管理能够提高车辆的使用寿命。由于宁波市是多雨区域,要加强雨天的服务水平。需要重点关注晴天、工作日和早晚高峰时期,这些时期是公共自行车使用效率最高时段。

(4)实行网点服务分级管理。在“等级4”超负载网点安排人员值守,并以它为中心,辐射服务周边网点,尤其是“等级3”高效网点,采取定点、定时有人值守服务。而“低效网点”和“均衡网点”一般无需有人值守。

6 总结与展望

“公共自行车”作为一项公益性的惠民工程,

在缓解城市交通“两难”、解决公交“最后一公里”、减少大气污染等方面起着积极作用。通过运营大数据分析,刻画了宁波市公共自行车租还车时间分布、效用函数和潮汐现象等特征。结合上述特征和宁波市地域发展特点,为“租车难、还车难”这一老大难问题提出了系统优化策略,该策略具有较强适用性又不失地方特色。城市公共自行车在发展的过程中存在着“个性”与“共性”的问题,研究对宁波市以及其他城市建设公共自行车系统的发展具有一定的参考价值。最终实现调度优化模型的实时处理,还需要开发调度软件包,这有待于今后去进一步完善。

参考文献:

- [1] 吴宝泰, 蒋丽芹. 城市公共自行车系统公众满意度评价体系构建[J]. 现代商贸工业, 2013(19):91-93.
- [2] KRYKEWYCZ G R, PUCHALSKY C M, ROCKS J, et al. Defining a primary market and estimating demand for major bicycle sharing program in Philadelphia, Pennsylvania[J]. Transportation Research Record, 2010, 2143(1):117-124.
- [3] 柳祖鹏, 李克平, 朱晓宏. 基于蚁群算法的公共自行车站间调度优化[J]. 交通信息与安全, 2012, 30(4):71-74.
- [4] 何流, 陈大伟, 李旭宏, 等. 城市公共自行车租赁点布局优化模型[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2012, 36(1):129-133.
- [5] 焦云涛, 李文权, 冯佩雨, 等. 公共自行车租赁站点调度需求量模型研究[J]. 交通信息与安全, 2014, 32(4):8-13.
- [6] SHAHEEN S S, GUZMAN S, ZHANG H. Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia: Past, present, and future[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2010, 2143:159-167.
- [7] 王芳. 基于云技术的公共自行车系统设计研究——以杭州为例[D]. 上海: 华东师范大学, 2014.
- [8] 潘海啸等. 公共自行车交通发展模式比较[J]. 城市交通, 2010, 11(6):40-43.
- [9] FULLER D, GAUVIN L, KESTENS Y, et al. Use of a new public bicycle share program in Montreal, Canada[J]. American Journal of Preventive Medicine, 2011, 41(1):80-83.
- [10] 蒋丽芹, 吴宝泰. 基于因子分析法的城市公共自行车系统公众满意度研究——以无锡市为例[J]. 哈尔滨商业大学学报(社会科学版), 2014(4):73-80.
- [11] 谷丛, 王菲. 杭州市公共自行车使用情况调查分析[J]. 统计学科与实践, 2010, 12(2):8-10.
- [12] 毛小燕, 汤鑫宇, 陈晓俊, 等. 基于人流密集度的网点数量与布局预测模型[J]. 宁波大学学报(理工版), 2016, 29(2):18-22.

A study on operation characteristic of Ningbo shared bicycle industry in perspective of big-data

ZHOU Hui-jie^{1,2}, LI Nan¹, AO Li-hong², YUAN Hong-qing²

(1.College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 211106, China;

2.College of Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315212, China)

Abstract: In this paper we explore the operation characteristic of the public shared bicycle system in Ningbo using big data analysis. According to the analysis, the time between lease and return in Ningbo observes the law of lognormal distribution. The average time cost between lease and return is 17.19 minutes. And the traffic peak-hour phenomenon exists in some lease sites. The lease sites in Jiangbei district and Zhenhai district presents small clusters and has not yet formed a systematic network. The lease time in Jiangbei is found to be the longest and the shortest is identified in Zhenhai. The utility function is established according to the analysis of riders' preference for transportation vehicle. The utility function can explain the difference of the time cost for the two districts. Finally, to tackle the problem of lease site distribution and traffic rush-hour phenomenon, the author puts forward some suggestions for the systematic network distribution of lease sites and optimal management of hierarchy scheduling.

Key words: public shared bicycle; big data; lognormal distribution; utility function; tidal phenomenon

(责任编辑 章踐立)