

基于人流密集度的网点数量与布局预测模型 ——以宁波市公共自行车系统为例

毛小燕, 汤鑫宇, 陈晓俊, 周晖杰*

(宁波大学 科学技术学院, 浙江 宁波 315212)

摘要: 针对宁波市公共自行车网点数量增加而新使用者增量和日周转率呈现下行的趋势, 对网点数量和布局进行分析和建模. 首先, 通过 K-means 聚类方法对不同网点按日周转率进行分类, 结果发现日周转率在 4 以下的低效网点高达 52.86%, 低于 0.5 的网点占 9.73%, 而在 15 以上的超负载网点占 2.5%, 两极分化现象非常明显. 其次, 讨论了宁波市城市公共自行车专项规划中基于面积和服务人口的网点数量预测模型的不足之处. 最后, 以较为成熟的城市公交线路为基础, 通过统计各公交站点的人流密集度, 提出了基于人流密集度的网点数量与布局预测模型, 并给出了网点在空间上的布局. 同时指出各城市公共自行车网点数量与布局问题既有发展共性又有地域个性, 基于公交线路人流密集度模型具有普适性价值.

关键词: 公共自行车; 日周转率; 人流密集度; 网点数量与布局

中图分类号: U491.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2016) 02-0018-05

公共自行车起源于欧洲, 在中国也得到了迅速发展, 通过与公共交通无缝对接, 破解交通末端“最后一公里”难题, 实现低碳出行, 美化城市. 2012 年住建部、发改委、财政部联合下发了《关于加强城市步行和自行车交通系统建设的指导意见》^[1], 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^[2].

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^[3]. 网点数量在 2014 年内从 574 个增加到 840 个, 增长率达 46.34%. 那么, 宁波市公共自行车新网点是否仍需要以目前的趋势迅猛建设? 若不需要, 又如何建立数学模型来规划网点数量与布局?

以往研究大多侧重于网点布局^[4-8], 但对公共自行车网点数量的预测缺乏关注. 而宁波市规划设计研究院对宁波市公共自行车网点数量预测的

方法过于粗糙, 造成预测误差较大, 同时出租车、旅游经济数量的预测模型缺乏借鉴价值.

1 宁波市公共自行车系统运营现状

1.1 日周转率概念

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, 该网点桩位数为 m_i 个, 2014 年 12 月共有 31 天, 则该网点的日周转率为:

$$r_i = n_i / (31 \times m_i).$$

全市所有网点的平均日周转率为:

$$r = (\sum_{i=1}^n r_i) / n,$$

式中, n 为网点个数.

计算可得 12 月份全市平均日周转率 $r = 4.045$, 相比国内外公共自行车全城覆盖且运营比较成功的城市, 如巴黎、巴塞罗那、里昂、杭州、太原等, 日均周转率分别为 10、7.8、5.4、7、11.65^[9-10], 可见宁波市在网点分布合理性方面存在一定差距.

收稿日期: 2015-09-18.

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

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目 (201511646019); 浙江省大学生科技创新活动计划暨新苗人才计划 (2015R405029, 2015R405030).

第一作者: 毛小燕 (1980—), 女, 浙江衢州人, 讲师, 主要研究方向: 模糊数学与逻辑代数. E-mail: maoxiaoyan@nbu.edu.cn

*通信作者: 周晖杰 (1979—), 男, 浙江奉化人, 副教授, 主要研究方向: 经济统计与社会网络. E-mail: zhouhuijie@nbu.edu.cn

1.2 运营核心指标的统计分析

宁波市公共自行车服务有限公司提供了 2013 年~2014 年度宁波市公共自行车运营数据, 租还车数据信息约 1 300 万条, 包括使用者信息、开卡日期、网点租用电子卡号、网点借用车号、网点租还车时间、租还车网点和桩位、网点规模和运营月份等信息内容. 从 2013 年 9 月系统开始运营到 2014 年底, 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.

表 1 2013 年 10 月~2014 年 12 月公共自行车网点数、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
2013 年 10 月	485	11 337	1.93
2013 年 11 月	504	11 256	2.11
2013 年 12 月	523	16 664	2.13
2014 年 1 月	574	28 694	2.92
2014 年 2 月	590	23 321	2.52
2014 年 3 月	596	33 626	5.20
2014 年 4 月	600	32 796	5.60
2014 年 5 月	623	28 933	6.23
2014 年 6 月	602	28 089	6.3
2014 年 7 月	611	20 545	6.57
2014 年 8 月	615	16 459	6.22
2014 年 9 月	644	17 018	6.77
2014 年 10 月	693	19 123	7.12
2014 年 11 月	767	16 254	6.47
2014 年 12 月	840	13 089	5.82

由于网点数、每月新使用者增量、日周转率等指标所代表的物理涵义不同, 因此需对这些数据按如下变换作无量纲化处理:

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

式中, $y_{\min}$ 和 $y_{\max}$ 分别为某指标的最小值和最大值, y 和 $\bar{y}$ 分别为该指标的实际数值和无量纲化后的数值.

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. 由于日周转率是衡量自行车使用效率的重要指标, 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 2014 年 12 月的趋势表现不一. 网点数量在 2014 年内从 574 个快速增加到 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.

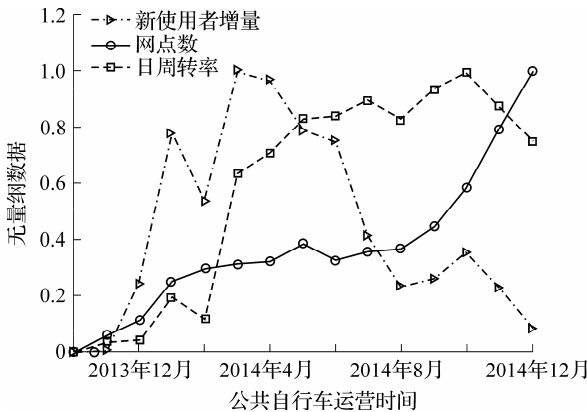


图 1 网点数、新使用者增量、日周转率变化趋势

1.3 公共自行车网点的聚类分析

使用 K-means 算法的聚类分析方法对不同网点的日周转率特征进行分类^[11]. 采用 SPSS 软件选用 K-均值聚类法将网点分成 4 类, 具体分析结果见表 2.

表 2 2014 年 12 月份网点 K-means 聚类分析

类别	类别 1	类别 2	类别 3	类别 4
最终聚类中心/个	1.68	5.60	10.45	17.69
各类别网点/个	444	271	104	21
网点比例/%	52.86	32.26	12.38	2.5

称类别 1 的网点(日周转率在 4 以下的网点)为低效网点, 比例高达 52.86%, 称类别 2 的网点(日周转率在 4~8 间的网点)为均衡网点, 称类别 3 的网点(日周转率在 8~15 间的网点)为高效网点, 称类别 4 网点(日周转率在 15 以上的网点)为超负载网点. 在 2015 年 1 月至 4 月, 通过对 20 个低效网点的日周转率持续关注, 日周转率并没有因运营时间和季节变化等因素的影响而显著变化. 日周转率低于 1 的网点达 143 个, 即 $P\{r_i < 1\} = 143 / 843 = 16.96\%$; 低于 0.5 的网点占 9.73%, 此类网点可理解为有一半自行车在 1 d 内被使用了 1 次, 而另一半没有被使用, 犹如“僵尸(死)”的网点.

2 宁波市规划设计研究院对网点数量的预测

2013 年 9 月, 宁波市规划设计研究院制定了《宁波市城市公共自行车专项规划》, 分别按服务人口和服务半径, 对 2020 年网点数量进行预测, 网点需求模型如下.

2.1 按服务人口预测

该模型以杭州和武汉每万人平均车辆为参考,

其中杭州平均每万人 183 辆、武汉平均每万人 152 辆, 给定未来宁波市应按每万人 150~200 辆指标配备公共自行车. 预测 2020 年宁波中心城人口达到 380 万, 按此指标匡算, 2020 年宁波中心城公共自行车规模为 5.7~7.6 万辆.

目前, 宁波市海曙区、江东区、江北区、鄞州区、北仑区和镇海区的公共自行车网点数分别为 177, 157, 125, 168, 97 和 92 个, 共计 816 个; 6 个区的桩位数分别为 4 680, 3 979, 3 212, 4 614, 2 665 和 2 104 个, 共计 21 254 个. 桩位的规模主要分为 15、20、25、30、50 等 5 种, 平均桩位 26 个, 中位数为 25 个. 若按中位数匡算, 可得 2020 年 5.7~7.6 万辆自行车规模大约需要 2 280~3 040 个网点, 这将是目前网点数的 2.71~3.61 倍, 数量惊人.

2.2 按服务半径预测

设定公共自行车服务半径为 150~200 m, 根据总体规划, 宁波中心城城市建设用地为 311.9 km², 2020 年应配公共自行车网点 2 483~4 414 个, 平均每个站点规模按 25 辆算, 市中心城区公共自行车规模为 6.2~11.0 万辆.

按上述 2 种方法对 2020 年网点数量和公共自行车数量预测, 结果见表 3.

表 3 2 种预测方法综合结果

预测方法	2020 年自行车数量/万辆
按服务人口预测	5.7~7.6
按服务半径预测	6.2~11.0
综合结果	7
预测方法	2020 年网点数量/个
按服务人口预测	2 280~3 040
按服务半径预测	2 483~4 414
综合结果	2 800

由分析数据可见, 宁波市规划设计研究院的网点需求模型存在以下几个缺陷: (1)按人口预测和服务半径预测, 忽略了区域功能或用地特征因素; (2)公共自行车的主要用途之一是解决交通接驳点换乘问题, 而预测模型没有考虑公交车、轨道交通等因素; (3)没有考虑公共自行车在不同发展阶段(发展期和稳定期)的需求特征. 以至于出现上节中所述的网点数迅猛增加, 而新使用者增量和日均周转率反而快速下降的情况, 导致公共资源严重浪费.

3 基于人流密集度的网点数量与布局预测模型

宁波市现有公交车线路的运营已经非常成熟, 且能够覆盖全市大部分区域, 在线路站点的选择上充分考虑了周围的居住区、商业区、公共区等功能区分布情况, 而且公共自行车建设的主要目的是为了实现与公共交通的对接, 尤其是公交车, 缓解“最后一公里”难题. 因此, 公交线路的发车间隔能较好地反映出乘坐人流的密集度, 并合理地反映站点周围人流密集度情况.

3.1 区域人流密集度的估算

为方便起见, 对公交车线路及站点做如下处理: (1)行车方向经过的站点看作上、下行都经过; (2)单某一时刻经过的站点看作白天都经过的正常站点; (3)不考虑高峰大区间运行公交车; (4)有多条分支线路的专线公交车, 按分支线路编号; (5)去除夜间线路; (6)不考虑特殊情况引起的公交线路调整. 上述这些情况较为特殊, 而且涉及的线路或站点数量少, 处理后对整体的影响可忽略不计.

数据存储格式为公交线路、发车间隔时间以及经过站点.

由于每辆公交车的运输能力比较固定, 因此可用一段时间内通过该公交停靠站点的公交车总班次来反映相应的人流密集度. 查询了宁波市区 143 条公交线路后, 并统计运行情况如下:

(1)143 条公交线路上合计 1 444 个公交站点.

(2)计算每个公交站点停靠的公交线路数, 用 $n_i (i=1, 2, \dots, 1444)$ 表示经过第 i 个公交站点的公交车线路数.

(3)由于不同线路的发车间隔不同, 统计 143 条线路公交车平均发车间隔, 用 $t_j (j=1, 2, \dots, 143)$ 表示第 j 条公交线路两两公交车的平均发车间隔, 单位为分钟.

(4)每小时通过公交站点的公交车总班次数为 $\sum_{j=1}^{n_i} (60/t_j)$.

(5)由于有几条线路的公交车间隔时间比较长, 1 d 只有几个班次, 所以统一计算在 16 h 以内(6:00~22:00)的总班次.

计算结果显示, 143 个公交站点的日总班次在 13~2 368 次之间, 表明不同站点的人流密集度差别很大, 标注总班次达到 1 000 次的公交站点附

近人流密集度为A类区域,总班次超过500次但没达到1000次的公交站点附近人流密集度为B类区域,总班次超过200次但没达到500次的公交站点附近人流密集度为C类区域,总班次没达到200次的公交站点附近人流密集度为D类区域。

因此,以1444个公交站点为代表的城市区域被分成了四大类,其中A类区域有站点52个,B类区域有站点159个,C类区域有站点380个,D类区域有站点853个。

3.2 区域人流密集度与公共自行车周转率关系

分析海曙、江东和江北3个片区的456个自行车网点的周转率和该网点附近区域人流密集度的关系,具体做法如下:

(1)计算456个自行车网点附近区域的人流密集度 $M_i(i=1,2,\dots,456)$ 。公共自行车网点的人流密集度是以该网点为中心,300m为半径的区域内的通过的总的公交班次。

(2)分析周转率和人流密集度的相关性。

结果表明,超负载的网点大部分分布在A类或B类区域。而死网点除徐家新村网点外都分布在C类和D类区域。需要指出的是徐家新村网点附近的公交站点朝晖新城是B类区域,但是该网点周转率却很低,这是由于在朝晖新城附近除该网点外还有好几个网点,它们已经大部分分摊了此块区域的人流。所以,在人流密集度较高的A类和B类区域,也需要控制自行车网点的数量。进一步计算可得,超负载网点的人流密集度均值约为1363,标准差约为808,取人流密集度区间为554~2170。而死网点的人流密集度的均值约为120,标准差约为173,取人流密集度区间为0~293。

3.3 网点数量与布局预测模型

根据上面分析,建立以下模型来设计城市公共自行车网点布局。

第一步:根据目前公交线路的运营网络分布,将宁波市区划分为以公交站点为代表的小区域;此外,宁波轨道交通运行不久,未来还需要考虑地铁站点的人流密集度。

第二步:以预新建网点为中心,300m为半径,统计该区域内停靠的总的公交班次数,即可计算出该区域内的人流密集度。

第三步:人流密集度在554~2170之间可作为

重点建设网点。其中,人流密集度在808以上的网点桩位数30~50个比较合适;在808以下的网点桩位数20~30个比较合适。若已建网点的桩位数没达标的网点,要么优化桩位数,要么在周围增加1个新网点,比如海曙区宁波饭店周围人流密集度为2700,而网点桩位数只有15,因此可以考虑网点桩位数增加到30~50个。

第四步:人流密集度在0~293之间,可作为严控建设网点。其中,人流密集度在120以下的禁止建设新网点,若已建网点,可综合考虑对其拆除;人流密集度在120以上的需谨慎建设该网点,且网点的桩位数10~15个比较合适。

第五步:人流密集度在293~808之间,可适当建设网点。其中,人流密集度在550以下的,网点的桩位数15~25个比较合适;人流密集度在550以上的,网点的桩位数25~30个比较合适。

在网点数据预测上,由于2013年10月至2014年10月宁波市公共自行车系统的新增使用者量和日均周转率等指标特征表现较好,因此笔者采用此段时间内的网点数量为前期时间序列数据,运用SPSS软件中时间序列分析工具,预测得到如表4所示的2015年底至2020年底网点合理数量。

表4 2015年底~2020年底网点数量预测

项目	2015年	2016年	2017年
网点数/个	939	1147	1355
项目	2018年	2019年	2020年
网点数/个	1563	1771	1979

以2020年为例,与按服务人口、服务半径等方法预测的网点数量预测结果相比,预测网点数量减少821个,每个网点按25辆自行车匡算,每辆自行车采购价格为548元,锁桩采购价格为每个2800元,仅这两项就可省下6872万元的财政支出,再加上在电子系统、周转调度自行车等投入,节省的社会公共资源(宁波市公共自行车是全额财政支出)的数量非常可观。

4 总结

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。为此,宁波市政府在整个公共自行车运营活动(包括前期采购、

中期运营、后期维护)中都投入巨额财政支持。但宁波市规划设计研究院在网点数量预测模型中没有遵循事物发展规律,模型设计比较粗糙,使得网点数量与布局存在不合理。为此,本文提出了基于人流密集度的网点数量与布局模型,建议在日均周转率和新增使用者量等指标的指引下,适当控制新网点的建设速度,否则会导致公共资源的严重浪费。在网点布局上,要优先考虑“小集群”不成网区域的公共自行车网点建设,促进这些网点公共自行车的日均周转率,提高群众的满意度。此外,该模型还可为我国其他发展公共自行车的城市提供一个科学的网点预测工具,以便更好地建设资源节约型社会。

参考文献:

- [1] 中国住房和城乡建设部. 关于加强城市步行和自行车交通系统建设的指导意见[EB/OL]. [2015-07-12]. http://www.mohurd.gov.cn/zcfg/jsbwj_0/jsbwjcsjs/201209/t20120917_211404.html.
- [2] 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(1):91-93.
- [3] KRYKEWY C Z, GREGORY R, JOSHUA R. Defining a primary market and estimating demand for major bicycle sharing program in Philadelphia, Pennsylvania[J]. Transportation Research Record, 2010, 10(1):117-124.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 焦云涛, 李文权, 冯佩雨. 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, 185:8-13.
- [7] SUSAN S, STACEY G, ZHANG H. Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia[J]. Transportation Research Record, 2010, 1(2):159-167.
- [8] 潘海啸, 汤葐, 麦贤敏, 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] 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.
- [10] DANIEL F, LISE G, YAN K. Use of a new public bicycle share program in Montreal, Canada[J]. American Journal of Preventive Medicine, 2011, 1(3):80-83.
- [11] 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, 6(4):73-80.

Traffic Density Based Demand Estimate and Layout Forecast for Public Bicycle Rental Stations in Ningbo

MAO Xiao-yan, TANG Xin-yu, CHEN Xiao-jun, ZHOU Hui-jie*
(College of Science & Technology, Ningbo University, Ningbo 315212, China)

Abstract: In 2014, the number of public bicycle rental stations in Ningbo was up by 46.34%, while new users and the daily turnover rate have shown an obvious decrease trend. In this paper, analysis is conducted and a model is built on both the number and layout of the rental stations. Firstly, through the K-means clustering approach, the different rental stations are classified by the daily turnover rate, and the proportion of “low-efficient rental stations” below the daily turnover rate of 4 is found to be as high as 52.86%. Also found is that the “zombie rental stations” is below 0.5, 9.73%, and the “overload rental stations” is over 15, 2.5%, showing an obvious polarization phenomenon. In addition, the number forecast model of rental stations is discussed in terms of area and service people in *Ningbo Public Bicycle Plan*, discovering that the model needs to be improved in more detail manner. Finally, based on the mature urban public bus routes and the traffic density, the number and layout forecast model are put forward according to the traffic density and the space layout of rental station.

Key words: public bicycle; turnover rate; traffic density; number and layout of rental stations

(责任编辑 章践立)