

闻健¹ 唐芑^{1*} 刘扬² 李力¹

1. 东南大学建筑学院; tangpeng@seu.edu.cn

2. 南京门东历史街区管理有限公司

Wen Jian¹ Tang Peng^{1*} Liu Yang² Li Li¹

1. School of Architecture, Southeast University; tangpeng@seu.edu.cn

2. Nanjing Mendong Historical District Management Co., Ltd.

国家自然科学基金项目(52178008)

历史文化街区空间环境要素与游客停驻行为相关性研究 ——以南京老门东历史文化街区为例

Research on the Correlation Between Space Environment Elements and Tourist Behavior in Historical and Cultural Block: Taking Nanjing Laomendong Historical and Cultural Block as an Example

摘要:本研究以南京老门东历史文化街区为例,研究既有街区空间环境要素与游客停驻行为的量化关系,旨在为历史文化街区的街道环境品质的提升和街区的运营管理提供参考依据和数据支撑。研究主要分为三部分:利用 Wi-Fi 探针设备获取游客时空轨迹的数据并进行数据清洗;对空间环境要素进行量化描述;通过主成分分析、多元线性回归分析等方法探究街区空间环境要素量化指标与游客停驻行为相关关系,并以此为依据得到传统建筑材质及立面要素的组合、底层过渡空间的设置、现代建筑要素的新旧对比是影响游客停驻行为的重要影响因素的研究结果。

关键词: Wi-Fi 探针; 空间环境要素; 行为数据; 多元线性回归

Abstract: The research object of this article is the historical district of Laomendong in Nanjing. This article studies the quantitative relationship between the spatial environmental elements of existing neighborhoods and tourist parking behavior. The research objective is to provide reference and data support for the improvement of street environmental quality and the operation and management of historical district. The research is mainly divided into three parts: Use Wi-Fi probe equipment to obtain the data of tourists' spatio-temporal trajectory and conduct Data cleansing, quantitative description of spatial environmental elements, and exploring the correlation between quantitative indicators of block spatial environmental factors and tourist stopping behavior through methods such as principal component analysis and multiple linear regression analysis. Based on the correlation results, the following conclusions can be drawn: the combination of traditional building materials and facade elements, the setting of transition spaces on the ground floor, and the comparison of new and old modern building elements are important influencing factors on tourist stopping behavior.

Keywords: Wi-Fi Probe; Spatial Environment Elements; Behavioral Data; Multiple Linear Rgression

1 引言

历史文化街区是传承和发展城市历史文脉的特殊场所,研究其中的游客停驻行为对历史文化街区的智慧规划、精细管理和精准服务有着重要意义。街区研究的尺度介于城市和建筑之间,相比城市研究需要更高的精度,相比建筑内部研究需要更复杂的观测范围及监测对象。近年来,Wi-Fi 探针的定位技术提供了研究特定环境中人的行为规律的全新方式,能够同时满

足研究精度和规模的需求。

在公共空间中的人群行为研究方面,扬·盖尔在《交往与空间》中指出,街道的尺度、长度、界面的多样性、高差和机动车流量对步行感受有不同程度的影响^[1],并形成了 PSPL 调研法(公共空间-公共生活调研法)^[2]。但在实际调研中,依靠人工进行的地图标记法、现场计数法、实地观察法和访谈法不仅工作量庞大,无法 24 小时实时监测,而且观测者的行为也会影响被观测人员的行为模式。Wi-Fi 探针技术能够独立

性高、侵入性低并且全天候合法地监测环境行为数据^[3],且已在旅游景区^[4]等地用于辅助研究人员获取人群数据,其可靠性也得到检验。

本文以南京老门东历史文化街区为例进行研究。老门东历史文化街区位于江苏省南京市秦淮区,北起长乐路、南抵明城墙、东起江宁路、西到中华门城堡段的内秦淮河,占地面积约 15 万 m²。由于西侧区域开发较为完整,街区丰富性较高,活力较强,因此选取老门东街区西侧部分共 16 段街道(图 1)为本次研究对象。

2 研究方法与评价指标

本研究主要建立了两大评价指标,分别为以 Wi-Fi 探针数据建立的游客停驻行为评价指标和以空间要素量化数据建立的街区空间环境要素评价指标,通过主成分分析、因子旋转、多元线性回归等模型分析,解析二者的内在相关性和影响机制。研究技术路线如图 2 所示。



图 1 研究对象
(虚线为街区核心范围,数字为探针序号,深色线段为本次研究街道位置,图片来源:作者自绘)

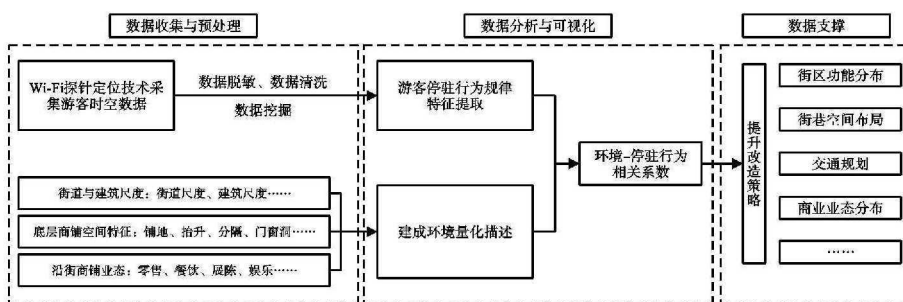


图 2 研究技术路线
(图片来源:作者自绘)

2.1 Wi-Fi 探针定位技术

本研究使用由东南大学李力开发的 Wi-Fi 探针设备采集人群行为数据。该设备包含 4G 通信模块、信号接收器、锂电池等。设备通过 Wi-Fi 探针接收发射信号的终端信息,并将其上传到云端数据库,研究人员可以从数据库下载 json 数据。数据库管理软件每天新增一个数据库来存放当天所有探针探测到的 MAC 地址数据。单条数据包含了数据时间戳、探针 ID 号、MAC 地址 ID 号、RSSI 强度四项信息^[3]。

本研究于 2023 年 4 月 27 日开始安装设备,共计 25 个 Wi-Fi 探针。布置地点经过前期研究以及现场勘查,均匀设置在 25 个街巷节点,隐蔽性较好。本研究共采集 2023 年 4 月 28 日至 5 月 18 日共计 21 天的游客数据,总计 1.05 亿条,数据样本大,具有客观代表性。

2.2 游客停驻行为评价指标

Wi-Fi 探针数据记录了在该探针约 10 m 范围内经过的终端设备信息,约 13 s 探测一次。为了衡量游客在某段街道的停驻行为,引入街道平均时间线密度 T ,具体计算公式见式(1):

$$T = \sum t / (n \times L) \quad (1)$$

式中, $\sum t$ 为一天当中所有经过该街道的游客的通过时

间之和,单位为“s”; n 为总人数,单位为“名”; L 为街道长度,单位为“m”,通过街道平均时间线密度的值衡量游客在该段街道单位长度停驻时间。街道平均时间线密度可以回避人流大小不同的差异性,从而可以看出单纯街区空间环境要素对游客停驻行为的影响。

2.3 历史文化街区空间环境要素评价指标

本研究选择在光线充足的白天展开,对所研究区域街道两侧立面进行图像提取,得到如图 3 所示的各段街道立面图像。



图 3 街道立面图像(局部)
(图片来源:作者自摄)

为量化空间环境要素,研究借鉴张章等对微观建成环境要素指标体系构建方法^[5],结合老门东历史文化街区的建筑和街道特点,去除和新增了部分评价指标,并对评价赋值方式进行优化,由对建筑单体进行要素提取改进为对各个街道单元进行总体要素提取,得到如表 1 的描述性统计(部分)。

续表

表 1 街道单元总体要素提取描述性统计(部分)

一级指标	二级指标	三级指标	评价方法	95-67	67-57	57-33	33-41	41-96	95-5
临街过渡空间特征	过渡空间感知度	地面铺装	过渡空间与街道地面铺装区分否/是明显	7	9	5	7	1	6
		地面抬升	过渡空间与街道地面高差否/是显著	0	0	0	1	1	0
		空间分隔	否/是通过护栏、矮墙、花池等分隔过渡空间与街道	9	8	4	4	1	0
		立面后退	建筑底层否/是立面后退,扩充过渡空间	2	2	4	4	1	2
		顶面外延	过渡空间上方否/是设有遮阳顶棚	2	2	3	0	0	1
		街道家具							
	街道家具	灯柱	无/有	2	2	0	3	1	1
		长椅	无/有	6	6	2	4	2	3
		餐桌	无/有	0	1	1	1	1	0
		遮阳伞	无/有	2	1	1	4	1	0
沿街底层特征	渗透性	纵深底面	底层开口否/是向内部延伸,如开敞院落	0	2	2	0	0	0
		纵向交叉道路	底层否/是为与干道垂直的巷道入口	2	4	2	1	2	5
	透明度	普通窗	无/有	0	1	0	1	0	2
		商业橱窗	无/有	8	6	3	3	1	2
		凸窗	无/有	1	1	0	1	0	0
		落地窗	无/有	5	7	3	4	0	0
		玻璃门	无/有	9	6	3	3	1	0
	曲折度	平直底层立面	底层立面垂直投影否/是为直线	9	9	5	6	3	6
		曲折底层立面	底层立面无/有明显折角、凸出或凹进	2	5	4	3	2	2

一级指标	二级指标	三级指标	评价方法	95-67	67-57	57-33	33-41	41-96	95-5
建筑立面构成特征	中式建筑要素	中式木窗	无/有	6	8	3	5	2	1
		石鼓/石柱/石狮/石敢当	无/有	0	2	1	1	2	0
		灯笼	无/有	8	9	2	5	2	0
		雕花	无/有	7	8	4	6	2	0
		彩绘	无/有	0	0	0	0	0	0
		门钉/门环	无/有	0	0	1	0	1	0
	现代建筑要素	通高门窗	门窗上下沿否/是与楼板/地面齐平	6	8	4	6	2	2
		平直檐口	建筑立面与屋顶面否/是平直交接	0	0	0	0	0	2
		不可开启窗扇	无/有	8	8	3	3	0	1
		无高差出入口	建筑内外部否/是无高差、台阶或门槛	1	0	1	0	0	0
		光滑建筑表皮	否/是	1	1	1	0	0	1
		简洁立面线脚	否/是	0	1	2	0	0	2
	其他建筑细部	屋面露台	无/有	0	0	0	0	0	1
		阳台	无/有	3	5	1	3	1	1
		店铺招牌	无/有	9	7	5	6	1	2
建筑材质		玻璃材质	无/有	9	10	4	6	1	4
		砖材质	无/有	9	4	5	5	1	5
		木材质	无/有	8	8	5	6	3	0
		混凝土材质	无/有	0	1	0	0	0	0
		金属材质	无/有	4	7	4	5	0	4
		石材	无/有	6	9	6	6	3	3

续表									
一级指标	二级指标	三级指标	评价方法	95-67	67-57	57-33	33-41	41-96	95-5
建筑材质		涂料材质	无/有	0	5	2	1	0	3
		材质对比度	弱/强	8	6	4	3	0	1
		材质多样性	建筑立面包含材质种类求和	43	48	26	29	8	19
商品陈设内容		艺术品	无/有	5	6	1	3	0	0
		服饰	无/有	3	0	0	0	0	0
		食物	无/有	3	3	4	4	1	2

(来源:作者自绘)

3 数据处理与分析

3.1 数据清洗与处理

由于 Wi-Fi 探针的自身特性,其记录的数据中有很多无效信息,因此首先需要对数据进行清洗。数据清洗主要针对三部分无效信息:伪 MAC 地址(只出现一次的数据);街区内智能设备(在某一探针连续出现次数超过 35 次的数据);街区内工作人员(总计出现 3 天以上的数据)。这三部分无效信息占据了采集信息的大部分。以 2023 年 4 月 28 日数据为例,28 个探针总计探测到 5165309 条数据,去除伪 MAC 地址后剩余 1280321 条,去除街区内智能设备和工作人员数据后,剩余 223298 条数据。

数据清理后,我们按照街道两端 Wi-Fi 探针的编号对该街道的街道平均时间线密度进行计算。每一个游客的数据处理方法:在 MAC 地址相同的情况下,按照时间戳对其经过的探针进行排序,选取经过该段街道两端探针编号的相邻数据,对其时间戳作差,即为该游客通过该段街道的时间。经过计算,得到 4 月 28 日至 5 月 18 日每日各段街道的街道平均时间线密度。

3.2 数据分析

在得到 16 段街道空间环境要素评价指标和对应的街道平均时间线密度后,我们利用“统计产品与服务解决方案”(statistical product service solutions,SPSS)软件,对二者的内在相关性进行分析。

我们首先对空间环境要素进行主成分分析(principal components analysis,PCA)。使用 SPSS 软件检验相关性,再结合人工判断去除与其他空间环境要素相关性较低的要素变量,最终得到 12 个要素变量:石材、木材质、地面铺装、中式木门、中式木窗、雕花、商业橱窗、材质多样性、纵深底面、地面抬升、落地窗、平直檐口。经过筛选的 12 个变量通过了 KMO 和巴特利特检验,KMO 值为 0.723,巴特利特球形度检验

的显著性为 0.000,分析结果如表 2 所示,最终得到了 3 个特征值大于 1 的主成分,其累计贡献度达到 88.358%。

表 2 总方差解释

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	总计	方差百分比	累积/(%)	总计	方差百分比	累积/(%)
1	7.753	64.611	64.611	7.753	64.611	64.611
2	1.797	14.978	79.588	1.797	14.978	79.588
3	1.052	8.77	88.358	1.052	8.77	88.358
4	0.731	6.094	94.452			
5	0.267	2.226	96.678			
6	0.14	1.17	97.848	旋转载荷平方和		
7	0.123	1.027	98.875	总计	方差百分比	累积/(%)
8	0.062	0.52	99.395	6.483	54.024	54.024
9	0.035	0.29	99.686	2.481	20.679	74.702
10	0.02	0.165	99.851	1.639	13.656	88.358
11	0.012	0.099	99.949			
12	0.006	0.051	100			

提取方法:主成分分析法

(来源:作者自绘)

其次,通过因子旋转,得到 3 个主成分中起主导作用的具体要素变量(表 3),将数据转译为空间环境要素判断依据。

表 3 因子旋转后的成分矩阵

变量	成分		
	1	2	3
石材	0.861	0.297	0.36
地面铺装	0.83	0.347	0.318
中式木门	0.902	0.123	0.189
材质多样性	0.91	0.305	0.178
木材质	0.904	0.354	-0.079
雕花	0.873	0.438	-0.09
商业橱窗	0.882	0.205	0.089
中式木窗	0.911	0.046	-0.337
纵深底面	0.28	0.862	0.123
落地窗	0.362	0.72	-0.113
地面抬升	0.076	0.731	0.519
平直檐口	0.088	0.077	0.952

提取方法:主成分分析法

旋转方法:恺撒正态化最大方差法

a5 次迭代后已收敛

(来源:作者自绘)

最后,将3个主成分作为自变量、16段街道平均时间线密度作为因变量,建立多元线性回归方程 $Z=b_0+b_1X_1+b_2X_2+b_3X_3$,确定各主成分对于游客停驻行为的影响权重,得到如表4所示的权重值, $Z=b_0+0.548X_1+0.443X_2+0.412X_3$,主成分的权重分别为39.1%、31.6%、29.3%。

表4 多元线性回归权重值

模型	常数	未标准化系数		标准化系数	t检验过程值	显著性
		B	标准误差	Beta	t	
1	(常量)	781.938	76.767		10.186	0
	主成分1	259.906	79.284	0.548	3.278	0.007
	主成分2	210.258	79.284	0.443	2.652	0.021
	主成分3	195.349	79.284	0.412	2.464	0.03

因变量:街道平均时间线密度

模型摘要

模型	R	R ²	调整后R ²	估算标准误差
1	0.816	0.665	0.582	307.0669

(来源:作者自绘)

4 基于空间环境要素的分析

通过多元线性回归方程 $Z=b_0+0.548X_1+0.443X_2+0.412X_3$,可以对空间环境要素与游客停驻行为的相关性做出以下判断。

4.1 传统建筑材质及立面要素是吸引游客停驻的重要因素

受中式木门、木材质、材质多样性等空间要素影响较大的主成分1对于游客停驻行为影响较大,这些空间环境要素可以总结为传统建筑材质及立面要素。结合在场地中的观察记录可知,人们往往倾向于在具有传统特色的建筑前拍照打卡留念,尤其是高大树木遮挡较少的、传统建筑立面要素较为丰富的建筑常吸引游客合照。例如位于33~41号探针之间街巷的南京德云社虽未在营业时间,但门口常吸引大量游客驻足[图4(a)]。

4.2 底层过渡空间是停驻活动发生的重要场所

以纵深底面、地面抬升为主要影响因素的主成分2代表了商铺的底层过渡空间处理方法。在建筑底层设置小型内院,或者借用街道树坛形成半围合纵深底面,以及通过设置地面抬升、摆放街道家具形成外部空间,都容纳了较多的游客停驻活动。底层商铺的过渡空间不仅是吸引游客进入商铺的无形招牌,也是承载例如茶歇、甜品品尝等餐饮消费活动的重要场所[图4(b)]。

4.3 现代建筑要素的新旧对比是停驻行为的引发点

以平直檐口为代表的现代建筑要素常常会激发历史文化街区对人们的视觉冲击,从而使游客驻足观望。现代玻璃、金属材质以及简洁的几何线条往往会吸引年轻人进店活动或在建筑前拍照驻足[图4(c)]。

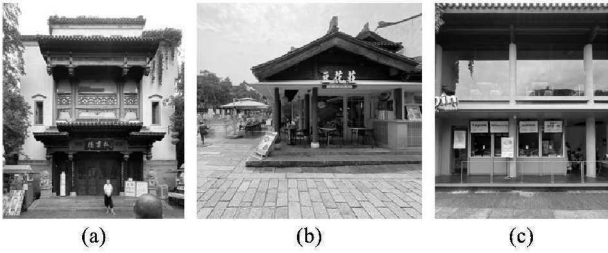


图4 典型空间环境要素

(a)传统建筑材质及立面要素;(b)底层过渡空间;

(c)现代建筑要素的新旧对比

(图片来源:作者自摄)

5 总结与展望

本研究结合公共空间的量化分析和Wi-Fi探针技术对游客停驻行为与建成环境进行相关性解析,更加精确描述游客停驻行为及其影响因素。研究发现:传统建筑材质及立面要素的组合、底层过渡空间的设置、现代建筑要素的新旧对比,是游客停驻行为的重要影响因素。

在数据收集方面,下一步的研究将进一步提高探针设备的稳定性,以减少数据丢失带来的偏差;在数据处理方面,对于Wi-Fi探针数据的挖掘可以更进一步,以建立更加综合完整的游客行为量化方法。

参考文献

- [1] 盖尔.交往与空间[M].何人可,译.北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [2] 盖尔,吉姆松.公共生活·公共空间[M].汤羽扬,译.北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [3] 李力,张婧,方立新.低精度WiFi探针数据采集分析方法研究——以街区尺度环境行为研究为例[C]//建筑数字技术教学工作委员会.智筑未来——2021年全国建筑院系建筑数字技术教学与研究学术研讨会论文集.武汉:华中科技大学出版社,2021:6.
- [4] 黄蔚欣,张宇,吴明柏,等.基于WiFi定位的智慧景区游客行为研究——以黄山风景名胜区为例[J].中国园林,2018,34(3):25-31.
- [5] 张章,徐高峰,李文越,等.历史街道微观建成环境对游客步行停驻行为的影响——以北京五道营胡同为例[J].建筑学报,2019(3):96-102.