

基于老年人出行数据的城市十五分钟生活圈动态识别与空间结构评价研究：以南京市为例

赵彤山

东南大学，江苏南京，210018；

摘要：在人口老龄化与城市存量更新的双重背景下，十五分钟生活圈是建设全龄友好型城市、保障老年人生活品质的关键抓手。传统生活圈规划多基于行政边界或服务半径，缺乏对老年群体实际步行能力与时空行为特征的精准响应。本研究以南京市为例，基于 60 岁及以上老年人的手机信令大数据，构建了一套生活圈动态识别与评价体系。依据老年人生理步速特征筛选出短途出行轨迹，利用均值漂移（Mean Shift）算法识别出 191 个老年人高频活动的生活圈。研究发现，老年人实际生活圈平均半径约为 0.89 公里，显著小于一般规划标准。进一步引入社会网络分析（SNA）对生活圈内部结构进行测度，揭示了老年社区出行的核心节点与网络脆弱性。本研究验证了利用大数据进行适老化空间体检的有效性，为精准化养老服务设施布局提供了科学依据。

关键词：十五分钟生活圈；老年人出行；手机信令数据；社会网络分析

DOI：10.69979/3029-2727.26.01.070

引言

1.1 研究背景与问题

随着中国快速步入深度老龄化社会，城市规划的价值导向正从增长优先转向品质优先。老年群体由于生理机能的衰退，其出行范围相对收缩，对居住地周边的医疗、康养、生鲜采购等设施的依赖度显著高于中青年群体。然而当前，各地在推进“十五分钟社区生活圈”建设中，往往采用统一的标准，固定距离或行政边界来配置设施。这种静态规划方法存在两个缺陷：一是忽略了老年人生理特征，导致规划的服务半径超出其舒适活动范围；二是缺乏对老年人实际出行轨迹的考量，导致设施布局与老年人真实的高频活动点位不重合。

1.2 研究目标与意义

随着移动位置服务（LBS）技术的发展，手机信令数据凭借其全样本、无感采集的优势，为捕捉老年人真实的时空行为提供了可能。本研究旨在：

- （1）利用南京市老年人手机信令数据，精准提取老年短途出行链。
- （2）采用聚类算法，从“流”的视角动态识别老年人实际的生活圈边界。
- （3）基于社会网络分析方法，量化评估生活圈内部的空间结构韧性，为适老化城市更新提供数据支撑。

2 数据来源与处理策略

2.1 数据来源与基本特征

本研究的数据源于南京市的 2023 年某完整周的手机信令数据。为了聚焦研究对象，原始数据已预先根据用户画像标签进行了筛选，仅保留年龄在 60 岁及以上的老年用户群体。

数据在空间上经过了栅格化处理，将用户的时空轨迹点聚合至 100 米×100 米的标准地理网格中。

2.2 基于老年人步行能力的 OD 矩阵构建



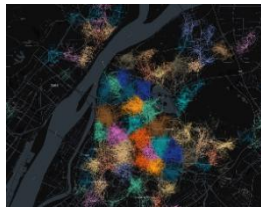
原始 OD 矩阵混杂了长距离非日常出行，为提取表征“步行生活圈”的轨迹，本研究制定了筛选策略，仅保留直线距离在 0-1.2km 范围内的出行记录。该阈值的设定考量了老年群体的生理机能与城市空间特征：一方面，老年人平均步速仅为 0.9-1.3 m/s，以 15 分钟为限，其理论步行距离约为 810-1170 米；另一方面，引入城市道路非直线系数（1.2-1.4）修正后，1.2 公里的欧氏距离实际对应超过 1.5 公里的路程，足以完全覆盖老年人的极限步行范围并有效剔除机动化出行。在此基础上，提取筛选后的网格坐标，构建加权 OD 矩阵 M_{ij} ，其中权重 ω 表征一周内从网格 i 至 j 的出行频次，以此作为后续生活圈识别的基础数据。

3 基于老年人出行的生活圈智能识别模型

3.1 算法选型

本方法进行生活圈识别的本质是对老年人出行轨迹点进行空间聚类，以发现其高频活动的聚集中心与边界。针对城市空间数据的复杂性，本研究对比了

K-Means、DBSCAN 与均值漂移（Mean Shift）三种主流算法的理论特性与实证效果（表 1）。实验表明，均值漂移算法处理效果最佳，因此被选定为本研究的生活圈识别模型。

比较维度	K-Means 算法	DBSCAN 算法	均值漂移 (Mean Shift) 算法
基本原理	基于距离划分通过迭代优化簇中心，最小化簇内样本点到中心的误差平方和。	基于密度扩展通过预设的邻域半径(ϵ)和最小点数(MinPts)寻找高密度区域，并连接成簇。	基于密度梯度上升基于核密度估计，迭代寻找数据分布的概率密度峰值(Mode)作为簇中心。
主要优点	1. 算法复杂度低，计算速度快。 2. 适合处理大规模数据集。	1. 无需预设簇数量。2. 能识别任意形状的簇。3. 能有效剔除离群噪点。	1. 无需预设簇数量，完全由数据驱动。2. 对簇的形状无假设，适应性强。3. 参数物理意义明确（带宽对应服务半径）。
主要局限	1. 需预先指定 K 值，主观性强。 2. 假设簇为球状或凸形。3. 对噪声和异常值敏感。	1. 对参数(ϵ ,MinPts)极度敏感。2. 难以处理密度差异大（密度异质性）的数据集。	1. 计算复杂度相对较高。2. 需要选择合适的带宽(Bandwidth)参数。
适用场景	簇数已知且数据分布较为规则（类球形）的分类任务。	数据包含噪声，且各类簇的密度较为均匀的空间聚类。	簇数未知、形状不规则，且需要寻找数据“热点”或“模态”的场景。
结果可视化			
本研究实践效果(基于南京数据)	效果差,强行将沿着街道分布的条带状生活圈切割成球形碎片,破坏了社区空间的连续性。	效果一般,受限于城市中心与边缘的密度差异,无法用统一参数平衡效果,导致低密度区过度破碎或高密度区粘连。	效果优,聚类边界顺应路网与河道走向;带宽参数可直接调控生活圈尺度,识别结果最符合老年人心理认知边界。

3.2 模型构建与参数寻优

本研究构建了包含特征工程、参数寻优与结果输出的完整识别流程。在数据预处理阶段，基于前文筛选出的 0-1.2km 短途出行数据，并提取每条轨迹的起止点坐标构建四维特征向量 $X = \{\text{Start_x}, \text{Start_y}, \text{End_x}, \text{End_y}\}$ ，以此捕捉老年人基于 OD 流的实际空间联系。模型构建的关键在于均值漂移算法中带宽参数（Bandwidth）的选择，本研究对此进行了梯度测试：当 $h=0.005$ 时，聚类结果过于破碎，将完整的居住社区割裂为零散碎片；当 $h=0.015$ 时，生活圈边界过度扩张并发生粘连，掩盖了社区内部的空间异质性；而当 $h=0.01$ 时，聚类形态与南京城市路网及社区肌理最为吻合，既保留了生活圈的内部连贯性，又有效区分了不同功能组团。

3.3 识别结果：老年生活圈的空间特征

模型在南京主城区共识别出出行数据量>2000 条的高活跃度生活圈 191 个。

尺度特征分析：统计显示，这 191 个生活圈的平均半径约为 0.89 公里。

这一数据具有重要的规划启示：尽管我们在数据筛

选时放宽到了 1.2 公里，但算法聚类得出的实际高频活动核心区半径仅为 0.89 公里。这量化证实了老年人的实际生活半径显著小于一般成年人（通常为 1-1.5 公里）。

4 基于社会网络分析（SNA）的空间结构评价

传统的城市生活圈规划多侧重于设施的点状分布与服务半径的几何覆盖（如缓冲区分析），这种静态视角往往忽略了老年人实际出行中产生的复杂流动特征与路径依赖。本研究认为，生活圈不仅仅是地理围栏内的空间集合，更是老年人通过日常步行串联起的社会交往与资源获取网络。

基于此，本研究将识别出的生活圈抽象为加权空间相互作用网络 $G=(V,E,W)$ 。其中，节点（Nodes, V ）对应经过栅格化处理的 $100m \times 100m$ 地理网格；边（Edges, E ）代表网格之间存在的老年人出行轨迹；权重（Weights, W ）则由两点间的周出行频次决定，表征空间联系的紧密程度。

4.1 量化指标选取

基于所建立的空间网络进行相应指标计算，为了多维度量化评估老年生活圈的空间韧性与活力，本研究选取度数中心性、中介中心性与网络密度构建评价指标体

系。各指标的计算原理、物理含义及在本研究中的分析应用逻辑如表 2 所示。

指标名称	计算原理与公式	物理含义	分析应用逻辑
度数中心性(Degree Centrality)	基于节点连接强度计算与节点 i 相连的所有边的权重之和(点权)。 $C_D(i) = \sum_{j \in V} \omega_{ij}$	衡量节点的“吞吐能力”反映该网格在生活圈中的热门程度。	用于发现老年人真实的高频活动点,判断规划的中心与实际使用的中心是否重合,指导核心资源的精准投放。
中介中心性(Betweenness Centrality)	基于最短路径频率计算节点 v 出现在网络中任意两点间最短路径上的概率。 $C_B(v) = \sum_{s \neq v \neq t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}}$	衡量节点的“中转控制力”反映该网格作为网络“桥梁”的重要性。	用于识别关键路口、人行天桥或小区出入口。此类节点一旦因缺乏无障碍设施而失效,将导致局部网络断连,是适老化改造的重点排查对象。
网络密度(Network Density)	基于实际连接比率计算网络中实际存在的边数与理论最大可能边数的比值。 $D = \frac{2L}{N(N-1)}$	衡量网络的“紧密程度”反映生活圈内部节点间联系的丰富度。	用于宏观对比新老城区的生活圈质量。高密度通常对应老城区的高活力与高可达性;低密度则预示新城区的松散结构与对主干道的过度依赖。

4.4 网络结构可视与关键节点微观诊断

为了验证社会网络分析指标在微观空间更新中的指导意义,本研究选取了南京主城区人口密度高、街巷肌理复杂的朝天宫生活圈作为样本进行可视化深剖。通过对比度数中心度与中介中心度的空间分布(图 1 与图 2),揭示了老年人生活圈“热点”与“通道”的空间分离特征:高度数中心性节点呈现明显的集聚状,主要对应大型菜市场、广场及主要公交站点,是老年人出行的“目的端”;而高中介中心性节点则分布呈网状弥散,往往隐藏在背街小巷的交叉口,是维系生活圈连通的“中转端”。

SNA 分析能够精准识别出传统规划容易忽视的隐形关键点。如图 2 所示,部分节点呈现出“低度数-高介数”特征。从微观流量视角审视,指向该节点的连线较少,表明它并非老年人的主要活动目的地;然而,穿过该节点的连线却极为密集,揭示了其作为连接生活圈居住组团与服务设施必经“桥梁”的结构性地位。这种特殊节点往往具有网络脆弱性,一旦此类节点因路面破损、照明缺失或施工封闭而阻断,将导致局部网络瘫痪,切断老年人通往核心资源的路径。

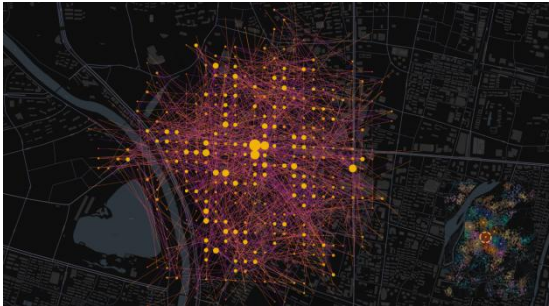


图 1 典型生活圈网络度数中心性可视化

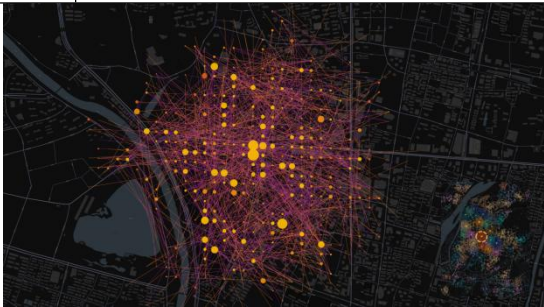


图 2 典型生活圈网络介数中心性可视化

基于此,本研究提出一种“针灸式”的适老化更新策略:对于高度数节点,应侧重场所营造,增设休憩座椅与无障碍设施以提升驻留品质;而对于高中介节点,则应将其作为韧性保障的重点,消除高差障碍并保障通行安全,从而以最小的干预成本实现生活圈整体效能的提升。

5 结论与规划启示

5.1 研究结论

本研究构建了一套基于手机信令大数据的适老化生活圈动态识别与评价方法,主要结论如下:

- (1) 实证了“老年尺度”的收缩:南京市老年人的实际高频生活圈平均半径为 0.89 公里,这一数值应作为未来社区适老化改造的基准尺度,而非通用的标准。
- (2) 均值漂移算法的适用性:该算法有效克服了传统划定的弊端,精准识别出沿街道、河道分布的不规则生活圈形态,还原了老年人的真实生活空间。
- (3) 网络结构的异质性:SNA 分析揭示了老旧小区与新城社区在养老资源可达性上的结构性差异,指出了需重点干预的关键路口与节点。

5.2 规划与政策建议

(1) 差异化定标: 建议在《社区生活圈规划导则》中增设“老年生活圈”专项标准, 将核心养老设施的服务半径收缩至 300-500 米, 一般生活设施控制在 800-900 米。

(2) 关键节点微更新: 依据 SNA 中介中心性结果, 对老年人出行的必经路口进行适老化微改造, 如延长绿灯时间、增设安全岛、消除地面高差。

(3) 动态体检常态化: 建立基于信令数据的常态化监测平台, 定期评估老年人生活圈的边界伸缩与活力变化, 及时发现并填补服务盲区。

参考文献

[1] 朱乐, 朱雨溪. 公平和可达: 南京市老年人 15 分钟

生活圈评估体系研究[J/OL]. 城市规划, 1-12[2025-12-01]

[2] 柴彦威, 等. 城市生活圈规划: 从研究到实践[J]. 城市规划, 2019, 43(05): 9-16.

[3] 上海市规划和国土资源管理局. 上海市 15 分钟社区生活圈规划导则(试行). 2016.

[4][1] 肖苗苗. 基于多源大数据的社区生活圈居民出行活动特征测度及影响因素分析[D]. 武汉大学, 2024.

[5] 朱晓雅, 赵晓龙, 裴立东, 等. 基于行为时空特征的老年人日常生活圈形态测度方法——以苏州古城为例[J]. 住区, 2024, (02): 46-51.

作者简介: 赵彤山(1999.7-)男, 汉, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 研究方向: 大数据城市设计。