

# 使用网络信令数据进行人类移动轨迹推断研究动态

刘宇航

(同济大学交通学院, 上海 201800)

**摘要:** 选取来自国际学术期刊的论文, 以概述形式对城市交通理论方法、实证分析等学术研究成果进行总结性介绍, 旨在增强城市交通业界和学界对国际学术动向和研究热点的关注, 促进学术交流。《TRANSIT: 使用网络信令数据进行大规模细粒度人类移动轨迹推断》一文基于网络信令数据设计了人类移动轨迹扩展框架 TRANSIT。依托密度聚类技术、移动行为模式以及高采样率信令数据, 该框架能够重建大规模、高精度的人类移动轨迹。基于真实 GPS 轨迹数据的验证表明, 其在移动轨迹重建方面优于现有先进方法。信令数据经 TRANSIT 框架处理后, 支持出行分担率计算、通勤线路识别、城市吸引力分析及城市流动性研究。

**关键词:** 移动轨迹扩展框架; 网络信令数据; 移动轨迹

Academic Dynamics on Inferring Human Mobility Trajectories Using Network Signaling Data

LIU Yuhang

(College of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201800, China)

**Abstract:** A review of selected papers from international academic journals is presented to summarize research findings, theoretical approaches, and empirical analyses of urban transportation. The aim is to enhance the communication between industrial and academic fields of urban transportation, highlight international research focuses, and promote academic exchange. The paper *TRANSIT: Fine-Grained Human Mobility Trajectory Inference at Scale with Mobile Network Signaling Data* proposed a framework called TRANSIT for extending and reconstructing large-scale and high-precision human mobility trajectories based on network signal data by leveraging density clustering technology, mobile behavior patterns, and high-sampling-rate signaling data. Validated by real-world GPS trajectory datasets, the proposed method performs better than existing modeling frameworks. Signaling data, after being processed by the TRANSIT framework, supports the analysis of travel mode shares, commuting routes, urban attractiveness and mobility.

**Keywords:** TRANSIT; network signaling data; mobility trajectory

收稿日期: 2024-07-08

作者简介: 刘宇航(2000—), 男, 河南洛阳人, 硕士研究生, 研究方向为大数据环境下人类移动行为规律, 电子邮箱 2231311@tongji.edu.cn。

## 研究背景

因具备丰富的时空信息, 详细通话记录数据(Call Detail Records, CDR)成为研究人类移动行为一般规律的重要数据源。这类数据在时间粒度和空间定位精度上仍存在限制, 难以准确还原细粒度的移动轨迹。网络信令数据(Network Signaling Data, NSD)具有更高的记录频率, 能够支持空间插值以改善移动轨迹推断结果。该论文将个体移动的规律性与高分辨率的网络信令数据结合, 设计了移动轨迹扩展框架 TRANSIT, 用以合并相似路径, 实现细粒度的个体移动轨迹重建, 并

且结合多个应用场景说明其有效性。

## 研究方法

1) 基于网络信令数据识别轨迹。

论文使用 2019 年 3—6 月采集的 300 万个用户的数据进行分析。基于设定的时间阈值和基站空间位置设计启发式算法, 从网络信令数据记录的事件中挖掘停留活动, 并消除基站乒乓切换导致的数据噪声。最后基于停留活动分割得到移动轨迹。

2) 基于移动行为规律扩展轨迹。

论文假定同一个体的移动行为具有规律

性，并在相同地点之间的移动轨迹相似。采用 Hausdorff 距离计算轨迹相似度得到距离矩阵。在距离矩阵中应用 DBSCAN 聚类得到相似轨迹，并对同一簇内的轨迹按照持续时间进行归一化、分箱、匹配和还原，得到扩展后的轨迹。

3) 基于小规模数据验证。

论文选择 4 名志愿者并使用跟踪程序采集其 2019 年 3—6 月的 GPS 轨迹。以 GPS 轨迹数据为真值，选择 DECREASE 和加权移动平均两种方法作为基线，以扩展后移动轨迹与 GPS 轨迹的偏差作为指标，证明 TRANSIT 框架的有效性。然后选择数据采样率、数据周期长度和同一簇内的轨迹片段数进行参数敏感性分析。

## 研究结论

1) 与 DECREASE 和加权移动平均方法相比，该论文提出的 TRANSIT 框架可以大幅减少识别得到的移动轨迹与真实轨迹之间的空间精度误差，在精确率、召回率和 F1 值三项指标中表现最佳，说明网络信令数据经过处理后能够得到准确的定位信息，足以支持大规模采集应用。

2) 高数据采样率可以显著减少 TRANSIT 识别轨迹的空间误差。随着网络信令数据观测周期的延长，通过 TRANSIT 扩展得到的轨迹空间误差会逐渐减小。在轨迹扩展过程中，同一簇内的轨迹片段数量对误差减少有明显的增益效果，但会呈现边际递减趋势。10 条相似轨迹已经足够实现误差

的最大程度减少。

3) 应用 TRANSIT 可以计算并发出行量，进而推断城市区域间出行需求。识别得到的出行轨迹与刷卡数据进行对比，可以得到公共交通出行分担率。在 TRANSIT 框架中得到的扩展轨迹包含所有通勤出行，能够用于识别繁忙公共交通线路和城市道路。

4) 对 TRANSIT 框架识别到的轨迹在较大时空尺度上进行集计，可以用于分析非常态事件下的重点区域出行吸引力高峰。此外，轨迹还支持细粒度分析，可以用于识别城市不同功能区域人群的通勤时耗和通勤距离特征。

## 研究总结

该论文应用网络信令数据高采样频率和长观测周期的特点，设计了移动轨迹识别框架，利用人类移动行为的规律性，有效地实现了高精度移动轨迹的重建，为移动数据采集和分析提供了新的方法。论文还通过公共交通出行分担率识别、繁忙通勤线路识别、常态/非常态下人类移动行为识别以及细粒度的城市关键道路相关流动性识别 4 个应用场景证明了高精度移动轨迹的应用潜力。

资料来源：BONNETAIN L, FURNO A, EL FAOUZI N E, et al. TRANSIT: Fine-grained human mobility trajectory inference at scale with mobile network signaling data[J]. Transportation research part C: emerging technologies, 2021, 130: 103257.

(上接第 119 页)

的技术路线则注重垂直领域数据、知识资源的融合，结合场景需求实现研发的快速迭代，可以加速垂直领域大语言模型的应用落地。如何从知识工程入手，将大语言模型与城市交通领域知识融合，增强其在城市交通领域的适应性，是推进大语言模型在城市交通领域应用的关键。

## 大语言模型在城市交通行业的落地应用需要行业人员深度参与

通用大语言模型应用于城市交通行业，需要改善对于专业问题回答荒谬或不真实的

现象，并增加可解释性。重点在于应用场景导向，在充分尊重行业自身功能需求和技术积累的同时，积极开展国家层面相关技术政策的顶层设计。一方面高校和规划设计机构需要面向行业实际问题，充分发挥大语言模型的技术优势，积极推进相关应用落地；另一方面政府应制定相关标准规范和技术指南，同时鼓励科研机构和企业加大对大语言模型技术的研发投入，促进技术创新和应用推广。

(李健)