

# 基于信令数据的城市交通枢纽运力精准配置与价值实现路径

王冰清

身份证号码: 3208021977\*\*\*\*2022

**摘要:** 随着智慧城市建设的深入推进, 传统交通枢纽运力配置模式面临数据碎片化、响应滞后等严峻挑战。本文提出一种基于移动信令数据的城市交通枢纽运力精准配置方法, 通过构建“感知-分析-决策-执行”的闭环优化体系, 融合多源交通数据, 实现运力动态调度与精准配置。应用结果表明, 该方法能有效优化运营成本、提升资源利用率并挖掘商业价值, 显著提升交通枢纽的综合效益, 为智慧交通治理提供了可复制的实践范式, 对推动智慧交通建设具有重要理论价值和实践意义。

**关键词:** 信令数据; 交通枢纽; 运力配置; 价值实现; 数据驱动

## Accurate allocation and value realization path of urban transportation hub capacity based on signaling data

Wang Bingqing

ID card number: 3208021977\*\*\*\*2022

**Abstract:** With the in-depth advancement of smart city construction, the traditional transportation hub capacity allocation model faces severe challenges such as data fragmentation and response lag. This paper proposes a precise allocation method for urban transportation hub capacity based on mobile signaling data. By constructing a closed-loop optimization system of "perception-analysis-decision-execution" and integrating multi-source traffic data, dynamic scheduling and precise allocation of capacity are achieved. The application results show that this method can effectively optimize operational costs, improve resource utilization, and explore commercial value, significantly enhancing the comprehensive benefits of transportation hubs. It provides a reproducible practical paradigm for smart traffic governance and has important theoretical value and practical significance for promoting the construction of smart traffic.

**Keywords:** Signaling data; Transportation hub; Capacity allocation; Value realization; Data-driven

## 0 引言

城市交通枢纽是城市交通网络的核心节点, 其运营效率直接影响整体交通效能。然而, 传统运力配置模式依赖历史数据和固定运行图, 存在数据碎片化、响应滞后等问题, 难以精准识别拥堵成因, 且在应对突发大客流时调度延迟, 导致聚集风险升高。移动信令数据具有广覆盖、高实时、强关联的特性, 为破解上述难题提供了新路径。当前研究虽在信令数据的交通应用方面取得进展, 但多数仍停留在技术验证阶段, 缺乏从数据感知到价值实现的完整框架。因此, 本研究旨在系统构建基于信令数据的运力精准配置模型, 并探索其价值实现路径, 通过建立“感知-分析-决策-执行”的闭环优化体系, 融合多源数据与智

能算法, 实现从经验驱动到数据驱动的模式转变, 为智慧交通建设提供理论支撑和实践参考。

## 1 信令数据在交通领域应用现状

移动信令数据源于用户与通信网络的交互, 凭借其广覆盖、高实时和强关联的特性, 已成为交通研究的关键数据源。其技术演进经历了从 2G/3G 时代基于蜂窝小区的粗粒度定位, 到 4G 时代结合到达时间差 (TDOA) 等技术实现的百米级定位, 直至 5G 时代借助大规模天线阵列与高精度时钟同步, 理论上可达亚米级定位精度。这一演进显著提升了信令数据的时空解析能力, 使其从宏观统计工具发展为能够刻画个体移动轨迹、识别微观出行行为的精细化分析基础。

国内外学者围绕信令数据的交通行业应用已构建了较为丰富的研究体系。早期研究主要集中于宏观层面的客流监测与统计,如估算区域人口密度、识别通勤走廊与潮汐规律。随着数据挖掘技术的进步,研究逐步深化至出行行为分析,包括通过起讫点(OD)分析揭示城市空间结构,通过出行链重构理解多模式换乘行为,以及通过驻留点识别推断出行目的。近年来,研究前沿已转向基于机器学习和人工智能的预测与优化,旨在实现短时客流预测、异常事件预警和动态资源调度。

尽管研究取得进展,但现有工作仍存在局限。首先,在数据融合层面,多数研究仍以信令数据为单一核心,与公交 GPS、票务系统、商业消费数据等多源信息的深度融合机制尚不完善,限制了分析视角的全面性。其次,在实时响应层面,现有模型多侧重于中长期的趋势预测与事后分析,在面对交通枢纽特有的“时空压缩”型大客流时,秒级感知与分钟级调度决策的闭环能力仍有待加强。最后,在数据价值释放层面,如何基于信令数据的运力精准配置系统实现经济效益和社会效益的全面提升,仍是当前理论研究和实践探索面临的共同挑战。

## 2 交通枢纽运力配置理论与方法

交通枢纽运力配置是经典的运筹学问题,其核心目标是在满足客流需求的前提下,实现运输资源的高效利用。传统运力配置模型主要依赖历史统计数据 and 固定运行图,进行车辆/人员排班、线路规划等静态优化。这些模型在稳定运营环境中表现良好,但无法有效应对客流的实时波动与突发事件,易导致非高峰时段运力冗余与高峰时段运力短缺并存,造成资源浪费与服务水平的下降。

为克服传统模型的刚性,实时调度与动态响应理论应运而生。该理论强调通过实时数据驱动,实现运力资源的动态适配与快速响应,其核心在于构建“感知-分析-决策-执行”的闭环。基于信令数据的实时客流监测与预测技术,为这一理论提供了关键数据支撑。例如,通过实时识别客流聚集度异常或运力供需失衡,系统可自动触发预警并生成疏导方案,如增开临时通道、调整公交车频率等,从而缩短应急调度决策时间,提升枢纽的运营韧性与服务可靠性。

基于前述理论梳理,本研究提出整合性理论框架,以系统地指导基于信令数据的城市交通枢纽运力精准配置与价值实现研究。该框架核心是“信令数据×运力配置的融合理论”,其中信令数据并非仅仅是传统运力配置模型的辅助输入,而是一种能够重塑运力配置逻辑的变革性要素。

它通过提供实时、全样、链条化的客流洞察,推动运力配置从基于历史经验的静态模式,转向基于数据智能的动态、精准与自适应模式,最终实现运力资源与客流需求在时空维度上的高水平动态平衡。本框架代表了一种正在兴起的“数据驱动的交通治理新范式”。这一范式实现了三个根本性转变:从依赖局部经验和滞后信息的分散决策,转向基于全局实时数据协同决策;从被动响应突发事件的应急管理,转向主动预测与预防的风险管控;从单一追求运营效率的管理目标,转向统筹兼顾运营成本、服务体验、商业价值与社会效益的多元价值创造。通过信令数据驱动运力优化,不仅是技术工具的升级,更是为数字时代城市交通系统的精细化、智能化治理提供了可复制、可推广的理论与实践蓝图。

## 3 运力精准配置模型构建

### 3.1 系统总体架构设计

本研究提出“数据驱动、智能决策”的设计理念,构建“感知-分析-决策-执行”闭环优化体系。该体系以移动信令数据为核心,融合多源交通数据,实现枢纽运力配置的全流程优化。感知层是基础,依托移动通信网络,以分钟级甚至秒级的频率,实时采集覆盖“客流-来源-路径-目的”的全链条信令数据,并与公交 GPS、票务等多源数据融合,形成对枢纽客流态势的全要素感知。分析层是大脑,运用大数据分析 with 人工智能算法,对感知数据进行深度挖掘,实现客流特征的精准画像、短时需求的科学预测以及运力瓶颈的智能识别。决策层是关键,基于分析层的输出,自动生成最优的运力配置与调度方案,如动态调整安检口数量、加密公交班次、启动应急疏导预案等。执行层是落脚点,通过可视化平台、API 接口将决策指令下发给相关的调度系统与执行单元,并对执行效果进行实时监测与反馈,从而形成一个持续迭代、自我优化的闭环系统。

### 3.2 数据融合与客流感知模型

为处理信令数据中的噪声与漂移问题,并实现与多源数据的整合,本研究设计一套系统处理流程,首先,对原始信令数据进行清洗与地图匹配,以消除“乒乓切换”、“飘移点”等噪声干扰。继而,采用时空聚类算法,从个体轨迹中精准识别停留点与换乘行为。其次在数据融合层面,为解决不同源数据间的时空基准差异,采用基于时空对齐的方法,通过开发时空转换中间件,实现了信令数据与公交 GPS 等数据的精准关联与校准。在客流感知层面,通过综合计算客流密度、移动速度与停留时长等核心指标,构

建能够从微观个体行为洞察到宏观客流分布的多层次实时监测体系。

### 3.3 客流预测与运力需求识别模型

在深度感知客流的基础上,模型进一步实现了客流的预测与运力需求的精准识别。具体而言,首先通过 OD 分析与时序轨迹链构建,精确识别客流的来源、去向,以及区分通勤、旅游、商务等不同出行目的;在此基础上,可进一步融合用户画像,构建旅客分类体系,为后续的差异化服务提供支撑。对于短期客流,本研究采用了人工智能混合神经网络架构进行客流预测分析。该架构不仅能捕捉客流的时间序列依赖关系,还能突出节假日、天气等外部关键因素的影响。最终,基于预测结果,构建了运力需求识别模型,通过实时计算“客流-运力匹配度”来评估供需状态,并预测未来潜在的运力缺口。

### 3.4 运力动态调度优化模型

为实现从态势感知到智能决策的跨越,本研究构建了运力动态调度优化模型。模型采用多目标优化方法,综合考虑运营成本最小化、服务效率最大化与资源利用率最优化。在实际运行中,模型能根据实时客流变化,自动生成组合疏导方案(如“增开临时通道+周边公交加密”),还可以通过强化学习算法,根据历史调度效果持续优化策略,实现从“固定响应”到“智能适应”的转变。此外针对突发大客流场景,可以建立分级响应机制,通过模拟推演功能,测试不同干预措施的效果,形成调度策略库。当触发预警后,模型会自动保存完整数据快照,通过回溯分析预警规则和应急预案,形成“监测-预警-复盘-优化”的闭环管理机制。

## 4 价值实现路径分析

### 4.1 经济效益实现路径

基于信令数据的运力精准配置模型显著提升了经济效益。在运营成本优化方面,模型通过动态需求识别与运力调配,削减无效班次,提升人力配置效率,节约人工成本,提高车辆周转率和设施利用率,减少出租车空驶里程、新车采购需求以及能源消耗,显著降低了各项运营支出。在商业价值创造方面,基于客流数据的精准分析使商业销售额显著提升,广告位定价得到一定程度提高。在应急管理优化方面,通过早期风险识别和快速响应机制,突发大客流场景下的应急响应时间大大缩短,降低潜在赔偿风险。

### 4.2 社会效益实现路径

基于信令数据的运力精准配置模型显著提升了社会效

益。在服务质量方面,基于信令数据的运力精准配置实现候车时间预测准确率提升,乘客平均等待时间显著降低,人均时间价值大大提高,大幅改善了乘客的出行体验和满意度。在环境效益方面,公交、有轨电车空驶率下降,燃油/电力支出减少,碳减排成效显著。在城市治理效能方面,数据驱动的决策模式推动了从经验型向精准型的根本转变,多部门协同响应机制的建立使警力部署、应急资源调配更加科学高效。这种治理模式的创新不仅提高了应急响应能力,还通过交通效率的改善带来了招商引资等间接经济效益,显著提升了城市整体竞争力和形象。

## 5 结语

本研究系统构建了基于信令数据的城市交通枢纽运力精准配置理论框架与实践路径。研究证实,通过“感知-分析-决策-执行”的闭环体系,能够有效解决传统模式的数据碎片化与响应滞后问题,进一步优化运营成本、改善资产利用效率和创造商业价值,实现经济效益和社会效益的显著提升。基于信令数据的运力配置模式将在智慧城市建设和交通强国战略中发挥更加重要的作用,最终形成覆盖生活服务、产业决策、社会治理的“数据神经网络”,为城市可持续发展提供强大支撑。

### 参考文献:

- [1] 方家,王德,谢栋灿等.上海顾村公园樱花节大客流特征及预警研究——基于手机信令数据的探索[J].城市规划,2022,(6).DOI:10.11819/cpr20160608a.
  - [2] 张天然.基于手机信令数据的上海市域职住空间分析[J].城市交通,2020,(1).DOI:10.13813/j.cn11-5141/11.2016.0103.
  - [3] 胡永恺,宋璐,张健等.基于手机信令数据的交通 OD 提取方法改进[J].交通信息与安全,2021,(5).DOI:10.3963/j.issn 1674-4861.2015.05.013.
  - [4] 陈俭新,赵红领,李润知等.基于移动互联网技术的出行模式识别方法[J].计算机工程与设计,2020,(9).DOI:10.16208/j.issn1000-7024.2015.09.042.
  - [5] 钮心毅,丁亮.利用手机数据分析上海市域的职住空间关系——若干结论和讨论[J].上海城市规划,2021,(2).
- 作者简介:王冰清(1977.10-),女,汉族,本科学历,高级政工师,研究方向:数字政府、数字交通、网络安全方面的研究工作。