



北京交通大学学报
Journal of Beijing Jiaotong University
ISSN 1673-0291, CN 11-5258/U

《北京交通大学学报》网络首发论文

题目：基于手机信令数据的京津冀城际出行时空特征分析
作者：陈立峰，尚晶，刘婷婷，闫学东，何庆
收稿日期：2022-09-19
网络首发日期：2023-11-09
引用格式：陈立峰，尚晶，刘婷婷，闫学东，何庆. 基于手机信令数据的京津冀城际出行时空特征分析[J/OL]. 北京交通大学学报.
<https://link.cnki.net/urlid/11.5258.U.20231108.1432.002>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

基于手机信令数据的京津冀城际出行时空特征分析

陈立峰¹, 尚晶¹, 刘婷婷², 闫学东², 何庆¹

(1. 中移信息技术有限公司, 广州 510020;

2. 北京交通大学 交通运输学院, 北京 100044)

摘要：随着城市群逐渐成为我国城市化发展的新形态，城市群城市间联系日益密切，城际出行需求增长迅速。为研究京津冀城市群城际出行的时空分布特征，利用手机信令数据提取用户城际出行 OD 数据，首先分析京津冀城际出行时间特征，其次研究出行高峰时段的空间分布，最后以区县为单位研究城市间交通联系特征。研究结果表明：京津冀城际出行有着明显的周变化规律，周一至周四城际出行量较少，周五至周日出行量显著增加，非工作日的早高峰时间比工作日延迟了一个小时。城际出行联系强度显示北京市与廊坊市之间形成了两条明显的交通走廊，城际出行呈现出以省会城市和经济发达城市为区域中心、其他城市为外围的出行结构。本文研究结果有助于进一步衡量区域一体化发展水平，为城市群交通系统规划以及建设提供一定的指导。

关键词：手机信令数据；城际出行；时空特征；出行网络特征；城市群

中图分类号：U125

文献标志码：A

Spatiotemporal characteristics of intercity travel in Beijing-Tianjin-Hebei based on mobile phone signaling data

CHEN Lifeng¹, SHANG Jing¹, LIU Tingting², YAN Xuedong², HE Qing¹

(1. China Mobile Information Technology Co., Ltd., Guangzhou 510020, China;

2. School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: As urban agglomerations have gradually become the new form of urbanization development in China, the cities within agglomerations are increasingly connected, and the intercity travel demand has grown rapidly. To study the spatio-temporal distribution characteristics of intercity travel in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration, mobile phone signaling data were used to extract user intercity travel OD data. Firstly, the temporal characteristics of intercity travel in Beijing-Tianjin-Hebei were analyzed. Secondly, the spatial distribution of travel peak hours was studied. Finally, the transportation link characteristics between cities were examined by using districts and counties as units. The results show that intercity travel in the Beijing-Tianjin-Hebei region exhibits a distinct weekly pattern. Intercity travel volume is lower from Monday to Thursday, and it significantly increases from Friday to Sunday. The morning peak time on non-working days is one hour later than that on working days. The intercity travel connection strength reveals the presence of two prominent traffic corridors between Beijing and Langfang, and the intercity travel structure centers around

收稿日期：2022-09-19 修回日期：2023-05-10

基金项目：国家自然科学基金 (71621001)

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (71621001)

第一作者：陈立峰 (1980-)，男，福建诏安人，工程师。研究方向为计算机科学技术与应用。email: chenlifeng@chinamobile.com.

通信作者：闫学东 (1975-)，男，河北沧州人，教授，博士，博士生导师。email: xdyan@bjtu.edu.cn.

provincial capital cities and economically developed cities, with other cities on the periphery. The findings of this paper are valuable for further evaluating the level of regional integration development and providing guidance for the planning and construction of urban agglomeration transportation systems.

Keywords: mobile phone signaling data; intercity travel; spatiotemporal characteristics; travel network characteristics; urban agglomeration

随着我国城市化进程的加快,城市空间布局越来越集约化,城市之间的边界越来越模糊,城市群这一城市形态逐渐形成^[1]。国内外典型的城市群有美国东北部大西洋沿岸城市群、北美五大湖城市群、日本太平洋沿岸城市群、英伦城市群、欧洲西北部城市群、中国京津冀城市群、中国珠江三角洲城市群等,城市群已成为全球经济最重要的载体之一。京津冀城市群作为我国重要的经济发展区域,以首都北京为核心,协同全国先进制造研发基地的天津以及产业转型升级示范区的河北,打造区域整体协同发展改革引领区,支撑和带动着我国经济发展。区域经济一体化的发展战略使得京津冀城市群内各城市之间的政治、文化、经济交流日益密切,人们跨城市就业、上学、旅游等行为所产生的出行需求越来越多,城际出行逐渐成为一种主流的出行行为。

我国现有的城际客运组织结构还不能满足社会对运输服务水平越来越高的需求,从而影响城际间的社会经济交流活动,导致区域一体化进程受到限制。因此不断优化城际间的交通运输结构显得尤为重要。城际出行行为在时间、空间分布上有着复杂的特征,通过分析城市群城际出行时间和空间分布特征,一方面可以掌握居民出行目的、出行时间和热点出行区域,总结归纳出居民城际出行规律,为城际出行需求预测奠定基础;另一方面根据时空特征分析结果可以识别出交通拥堵区域,为城市群交通系统规划以及建设提供参考。

近年来国内外学者利用大数据分析城市出行特征取得了较多研究成果。Szeto等^[2]根据中国香港2011年用户出行特征调查数据,对老年人的时空出行特征进行了可视化分析,以确定老年人的出行模式,并提出了适合老龄化社会出行需求的政策建议。Deng等^[3]考虑到地形对出行行为的影响,收集了具有不同地理特征的两个城市上海与重庆的轨道交通IC卡刷卡数据,基于上下客站点和站点之间的乘客人口创建旅行网络,分析城市出行行为的时空特征。唐艳丽等^[4]基于出租车全球定位系统(Global Positioning System, GPS)大数据,考虑影响出行量的天气、兴趣点(Point of Interest, POI)、时间等因素,构建径向基(Radial Basis Function, RBF)神经网络,对出租车出行特征进行回归分析。苏跃江等^[5]融合了城市轨道交通自动售检票系统(Automatic Fare Collection, AFC)、IC、GPS等多源数据分析了居民出行特征,并与基于抽样调查数据所得出的结果进行了对比,结果表明,抽样调查数据所得到的居民出行漏报率较高,早晚高峰公交与地铁和实际也相差较大,多源数据融合驱动的居民出行特征结果较为准确。以上研究中所用到的数据都是抽样调查数据、车载GPS数据、公交IC卡数据、网约车数据等,抽样调查数据^[6-8]具有管理成本高、更新速度慢且覆盖率低等缺点;车载GPS数据、公交IC卡数据、网约车数据^[9]等主要反映的是公路或铁路客运数据,难以覆盖所有交通方式的出行信息,对整个城市以及城市群交通系统规划设计起到了限制作用。

随着智能手机的广泛普及和数据收集技术的提高,手机信令数据中包含的位置和时间信息为多领域研究提供了强有力的数据支持。手机信令数据不仅数据量大、覆盖面广、数据采集频率高,而且覆盖了所有交通方式的出行^[10-12]。通过手机信令数据获取个人出行信息,弥补了传统的统计抽样或全国家庭出行调查等获取交通大数据的成本高且数据更新速度慢的缺点,同时获取数据全面,如能获取一个区域全部交通方式的出行信息。吴子啸等^[13]基于手机信令数据提取出长三角城市群城际出行起讫点(Origin-Destination, OD)数据,在城际出行组成分布、空间分布等方面进行特征分析。李自圆等^[14]利用手机信令数据,构建长三角范围内306个区县之间的城际出行网络,基于复杂网络模型,分析城际出行的空间和规模分布特征。但这些特征分析的研究成果只能反映浅层特征,区域之间城际出行的深层次特征还需进一步挖掘。

基于此,本文基于手机信令数据所提取出的城际出行OD数据,分析京津冀城市群城际出行行为的时空异质性。其中从城际出行量在周、日、小时、星期属性等维度的分布来研究时间特征;从城际出

行空间分布得出热点出行区域。基于城际OD出行量构建居民城际出行空间网络结构，深入剖析城市群范围内不同城市间的出行关系及强度。同时根据不同日期类型的城际出行量时间分布特征，分析不同日期的城际出行量空间分布情况,从而反映居民出行对城市群结构的空间依赖性。

1 数据说明

1.1 原始数据

本文研究范围是京津冀城市群，如图1所示京津冀城市群包括北京市、天津市、河北省11个地级市以及河南安阳共14个城市，面积21.6万 m^2 ，南北跨度700km，是世界上规模最大的城市群之一。京津冀城市群濒临渤海，北靠太岳，以首都北京为核心，支撑和带动着我国经济发展，与此同时城市间的出行活动越来越频繁以及多样化。



图 1 研究范围——京津冀城市群

Fig.1 Research Scope-Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration

本文基于中国移动手机信令数据中所提取的用户出行OD数据进行研究，手机信令数据的位置信息是基于基站的位置信息而得到的，基站位置信息的精度小于500m，故出发地/到达地的网格尺寸定义为500×500。选取2021年5月17日（星期一）—2021年6月6日（星期日）共三周的数据，经筛选得到共9200多万条京津冀城市群城际出行OD数据。由于居民出行特征较为稳定，因此可以用两周的出行特征代表京津冀城市群城际出行的整体交通情况。数据字段有用户ID、出发地省ID、出发地市ID、出发地县ID、出发地经度、出发地纬度、出发时间、到达地省ID、到达地市ID、到达地县ID、到达地经度、到达地纬度、到达时间等，具体字段含义如表1所示。

1.2 数据预处理

基于海量的手机信令数据所提取的用户出行OD数据量较为庞大，需要进行一定的清洗删除冗余或不合理数据，具体清洗过程如下。

步骤1：转换坐标系，将数据坐标转换为常用的地心坐标系（WGS-1984坐标系）。

步骤2：筛选出京津冀城市群范围内的城际出行OD数据。首先筛选出2021年5月17日（星期一）—2021年6月6日（星期日）期间出发地和到达地在京津冀范围内的数据；然后根据出发地和到达地的城市ID不同筛选出城际出行。

步骤3：检查并删除不合理数据。根据odDuration字段和OD两点欧式距离筛选掉不属于城际出行合理范围的数据。其中odDuration字段大于300s，OD两点经纬度算出欧式距离并筛选出欧式距离大于1000m的数据。

表 1 用户出行 OD 数据字段含义
Tab.1 User travel OD data field meaning

字段名称	字段含义	样本示例
imsi	加密后的用户识别码	65b1eccba62cb8...

oEnterTime	用户出发地网格进入时间点	1625415348700
oLeaveTime	用户出发地网格离开时间点	1625421343233
oProvinceID	出发地网格省	110000
oCityID	出发地网格市	110100
oCountyID	出发地网格区	110107
oLongitude	出发地网格经度	116.14134
oLatitude	出发地网格纬度	39.92893
dEnterTime	用户到达地网格进入时间点	1625495348700
dLeaveTime	用户到达地网格离开时间点	1625501343233
dProvinceID	到达地网格省	120000
dCityID	到达地网格市	120100
dCountyID	到达地网格区	120114
dLongitude	到达地网格经度	116.9160195
dLatitude	到达地网格纬度	39.70297991

2 京津冀城际出行时间特征分析

对京津冀城市群城际出行交通量进行时间特征分析研究，可以掌握居民在城际间出行的时间规律，在理论上可以为城市群城际间交通量预测的特征变量选取提供一定的依据。同时出行分布所体现出的高峰出行时间段、出行时间变化周期、不同时间类型分布差别特征有助于城市群交通管理部门提前做好人口聚集的疏导与控制、区域交通规划与管理等。

2.1 每日城际出行总量分布特征

统计2021年5月17日（星期一）—2021年6月6日（星期日）的京津冀每日城际出行量，并将统计结果绘制成变化趋势图，如图2（a）所示。由图2（a）可知，京津冀每日城际出行总量在420万到470万之间；以周为单位看，有着明显的周变化规律，周一至周四城际出行量差别较小，周五至周日城际出行量差别较小，且后者的城际出行量明显多于前者。相比于城市内部出行，城际出行距离较长，出行目的一般有出差、旅游、上学等，故居民更趋向于非工作日城际出行，符合图2（a）中所反映的变化规律。

2.2 每时城际出行总量分布特征

为了研究不同日期每时城际出行量的变化规律，统计2021年5月17日—6月6日的每时出行量，并将统计结果绘制成变化趋势图，如图2（b）所示。由图2（b）可知，不同日期间每日整体变化趋势基本一致，即每日有2个高峰期，分别在早上6点至9点、下午16点至18点，和城市内部出行的早高峰时间点类似。其中0点时城际出行量很少，随后逐渐回升，7点时达到第1个峰值，7点至11点城际出行量下降，11点之后城际出行量慢慢增加，17点时达到第2个峰值，17点之后出行量呈线性趋势下降。总体来看，6点至18点城际出行量缓慢波动，维持在22万~30万人次左右。精细化的每个时间段的城际出行量有利于城市群交通管理部门的规划与管理工作并针对出行高峰时间段提前做出应对准备。

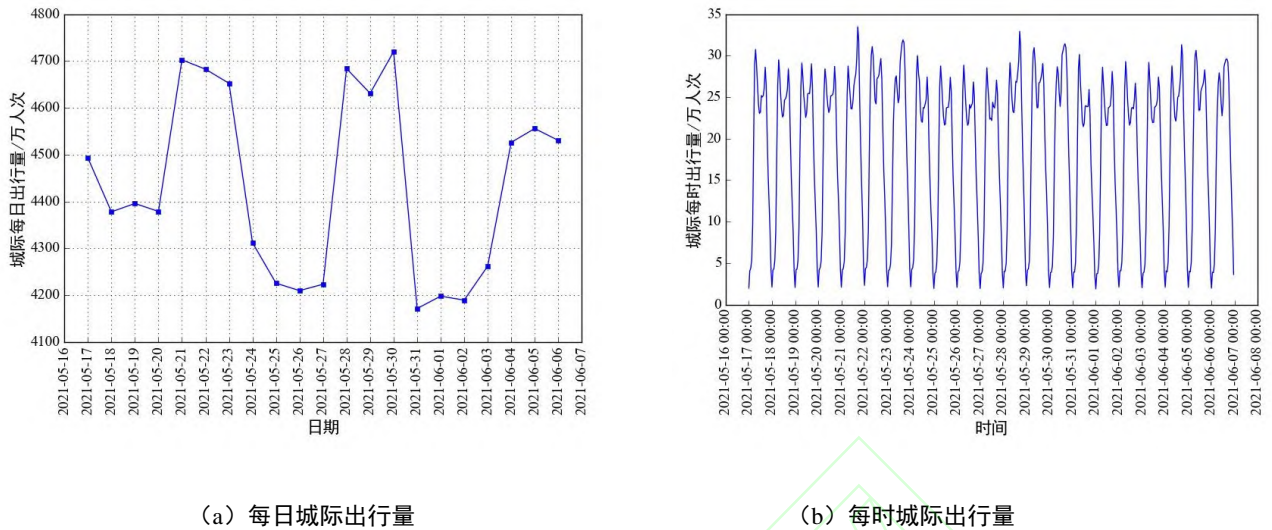


图2 2021年5月17日—6月6日城际出行量分布
Fig.2 Intercity travel volume distribution of Beijing Tianjin Hebei between May 17 to June 6, 2021

2.3 工作日与非工作日城际出行量分布特征

通过每日城际出行总量分布图2可以看出城际出行有显著的周期性，周内相较于周末，城际出行量较少，为了进一步研究工作日与非工作日城际出行量的变化规律以及差别，按照星期属性将2021年5月17日—6月6日出行量归类并分别计算每时平均城际出行量，将结果绘制成热力图，如图3所示。

由图3可知，一周内每日小时城际出行量变化趋势具有明显的相似性和规律性。城际出行量主要分布在6点~18点，不同星期类型间每时城际出行量不同之处是高峰期的水平，以周为单位分析，周五下午的高峰期在一周中是最高的，其次是周日的下午高峰期。以上规律可能是因为人们为了享受更长时间的周末，选择周五下午下班后进行城际出行，于周日下午继续城际出行返程。

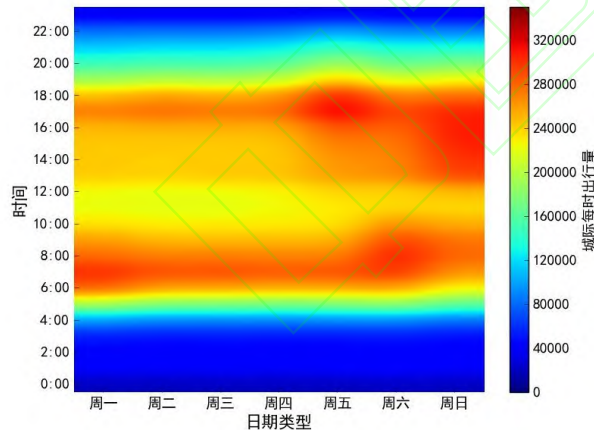


图3 不同日期类型每时城际出行量
Fig.3 Hourly intercity travel volume on different date types

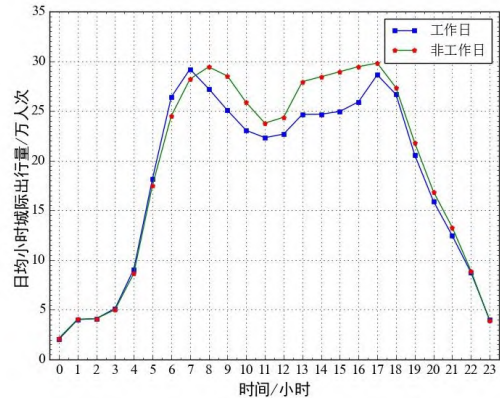


图4 工作日与非工作日日均小时城际出行量
Fig.4 Average hourly intercity travel volume on working days and non-working days

将2021年5月17日—6月6日出行量分为工作日出行和非工作日出行，并以60min为时间切片将一天分为24个间隔，统计出行量并绘制成曲线图如图4。从图4中可以看出，工作日和非工作日的整体趋势规律大致相似，但两条曲线在0点至6点时基本重合，6点至22点非工作日的出行量比工作日的出行量大；此外，非工作日的早高峰时间点要比工作日的晚1h左右，这一特征有助于提高城际早晚高峰出行量的预测精度。

3 京津冀城市群城际出行时空特征分析

京津冀城市群内居民进行着丰富的社会活动，会产生大量的出行OD数据，交通发生和吸引与土地利用性质及城市规划布局息息相关，通过分析城际出行OD时空特征，能更好地掌握居民热点城际出行

区域，为城市群交通规划部门以及城市规划提供指导。

3.1 京津冀城际出行高峰时段空间特征分析

由图4可知，不同日期类型的城际出行量时间分布有所不同，其中周五17点至18点的城际出行量在一周中是最高的，其次是周日16点至17点，为了对比分析这两个高峰期的城际出行空间分布，结合网格模型，将京津冀区域划分为 100×100 的网格，网格的编号为-1, 0, 1, ..., 99。在网格模型基础上分别统计2021年5月17日—2021年6月6日期间周五17点至18点京津冀城市群城际出行量、周日16点至17点各区县的城际出行量，利用Arcgis工具进行可视化，如图5所示。

由图5可知，周五17点-18点与周日16点-17点的城际出行量分布大致相似，相似之处在于大部分地区的出行量是第1层级（小于118人次），第2层级（119-402人次）主要分布在各行政界线周边，第3、4、5层级（大于402人次）的出行量主要分布在北京、天津、石家庄、邢台以及北京与廊坊交界处，不同之处在于周日的出行量要比周五的出行量少。

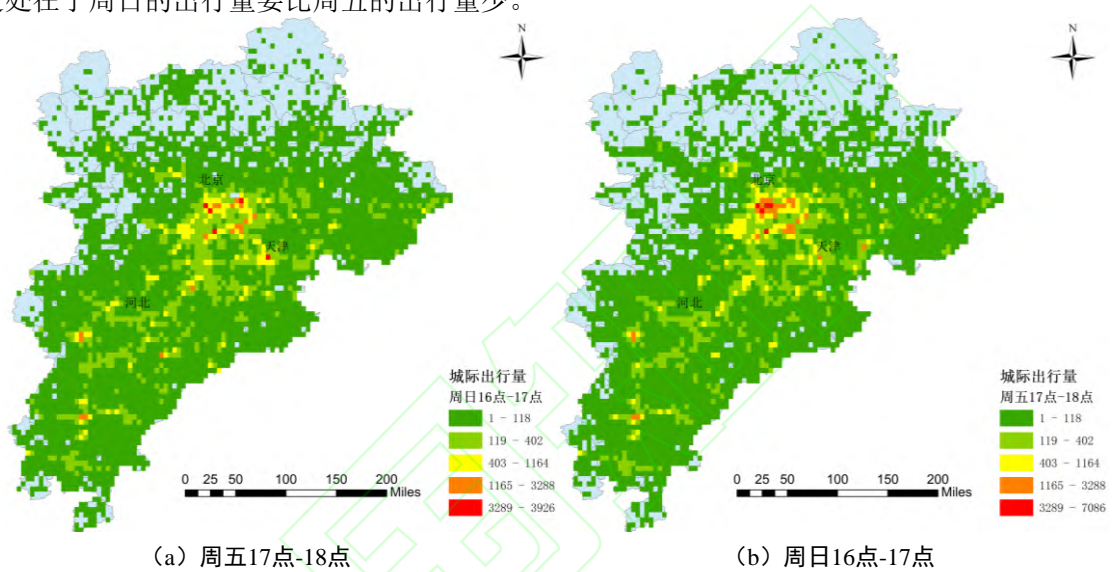


图5 京津冀部分时段城际出行量分布

Fig.5 Intercity travel volume distribution in some periods in Beijing Tianjin Hebei

3.2 京津冀城市间交通联系特征

本文按照区域的行政编码进行空间单元划分，根据2021年国家行政区域编码表可知，京津冀城市群共有211个区县，2021年5月17日—6月6日手机信令数据显示存在41004个城际出行OD对，OD对如图6所示。

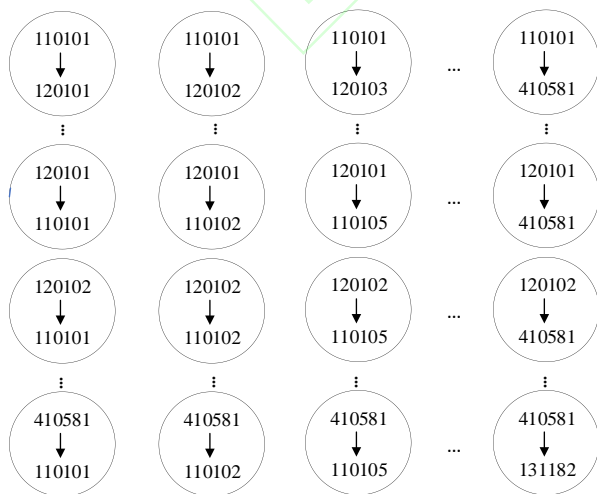


图6 京津冀城市群区县间城际出行OD对

Fig.6 OD pairs of intercity travel between counties in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration

为了具体分析京津冀城市群居民城际出行 OD 路线的时空特征，利用 2021 年 5 月 17 日—6 月 6 日共 3 周的城际出行数据统计分析所有 OD 对的平均每日城际出行量，并进行排序，取前 20 位的排序结果如表 2。由表 2 可知，北京市朝阳区（行政编码 110105）-廊坊市三河市（行政编码 131082）往返的两个 OD 对出行量是最多的，北京市与其周边相邻城市的出行量在京津冀城际出行总量中占比较大，体现了城市群以北京为核心的交通结构，此外发现互为往返的 OD 对平均每日出行量相近，说明 OD 两个地点是居民城际出行最终的出发地和目的地。

表 2 所有 OD 对平均每日城际出行量排序
Tab.2 Ranking of all ODs against the average daily urban travel volume

排序	OD 对	排序	OD 对
1	北京市朝阳区（110105）-廊坊市三河市（131082）	11	廊坊市固安县（131022）-北京市大兴区（110115）
2	廊坊市三河市（131082）-北京市朝阳区（110105）	12	北京市大兴区（110115）-廊坊市固安县（131022）
3	廊坊市三河市（131082）-北京市通州区（110112）	13	廊坊市广阳区（131003）-天津市武清区（120114）
4	保定市涿州市（130681）-北京市房山区（110111）	14	廊坊市香河县（131024）-北京市通州区（110112）
5	北京市房山区（110111）-保定市涿州市（130681）	15	廊坊市三河市（131082）-北京市顺义区（110113）
6	北京市通州区（110112）-廊坊市三河市（131082）	16	北京市通州区（110112）-廊坊市香河县（131024）
7	邢台市沙河市（130582）-邯郸市永年区（130408）	17	北京市顺义区（110113）-廊坊市三河市（131082）
8	邯郸市永年区（130408）-邢台市沙河市（130582）	18	天津市武清区（120114）-廊坊市广阳区（131003）
9	廊坊市广阳区（131003）-北京市大兴区（110115）	19	保定市雄县（130638）-沧州市任丘市（130982）
10	北京市大兴区（110115）-廊坊市广阳区（131003）	20	沧州市任丘市（130982）-保定市雄县（130638）

注：括号中数字为该地区行政编码。

为了深入了解城际出行发生的起讫点及精细化研究城市间的交通联系强度，利用Gephi软件分别研究京津冀城市群4个省、14个城市之间的交通量。京津冀城市群内有14个城市，以城市为节点，形成14个节点，用和弦图描述京津冀城市群省区域城际出行OD联系关系，如图7所示，由图7可知城际出行量排在前4位的分别是北京市、廊坊市、天津市、保定市，其中北京市与廊坊市之间的城际出行活动最为活跃，形成2条明显的交通走廊，京津冀城市群交通系统规划时应注重这条线路的建设。

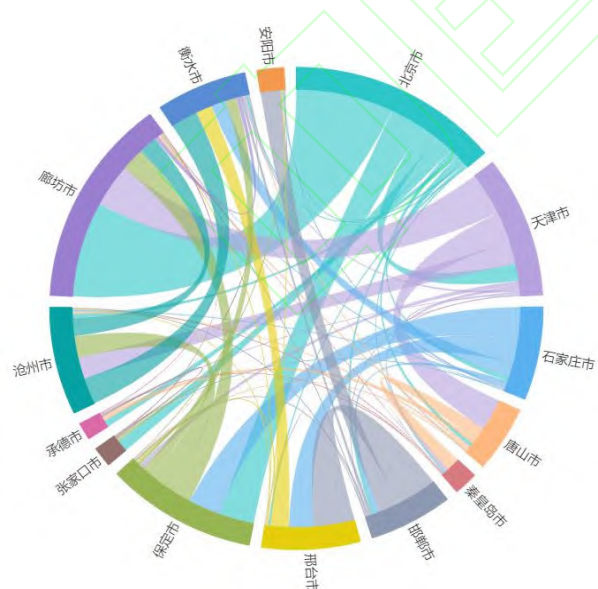


图 7 京津冀城市群 14 个市之间的出行分布
Fig.7 Travel distribution among the 14 cities in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration

为刻画京津冀城市群区县之间的交通联系程度，使用2021年5月17日—6月6日共3周城际出行OD数据统计京津冀城市群211个区县间的平均每日城际出行量，利用ArcGIS软件绘制城际出行路线和强度，可视化效果如图8所示，用线路的颜色深浅和粗细来区分线路上分布的出行量程度，线路颜色越深，其分布的出行量越多。从整体空间分布来看，京津冀城市群居民城际出行在空间联系强度和空间联系模

式上均存在明显的层级特征和空间依赖性，将出行线路按照线路上分布的出行量分为5个层级，第5层级的城际出行线路分布在京津冀城市群的中部区域，呈现出以北京、天津、石家庄、廊坊、秦皇岛为区域中心向外辐射的布局，其线路连接的是城市间相邻区县间的出行。京津冀城市群城际出行线路分布特征反映了居民出行对城市群内部城市结构的空间依赖性，呈现出以省会城市和经济发达城市为区域中心，其他城市为外围的出行结构，在城际出行结构上体现了城市群以中心城市带动城市群发展，进而以城市群带动区域协调发展的辐射作用。

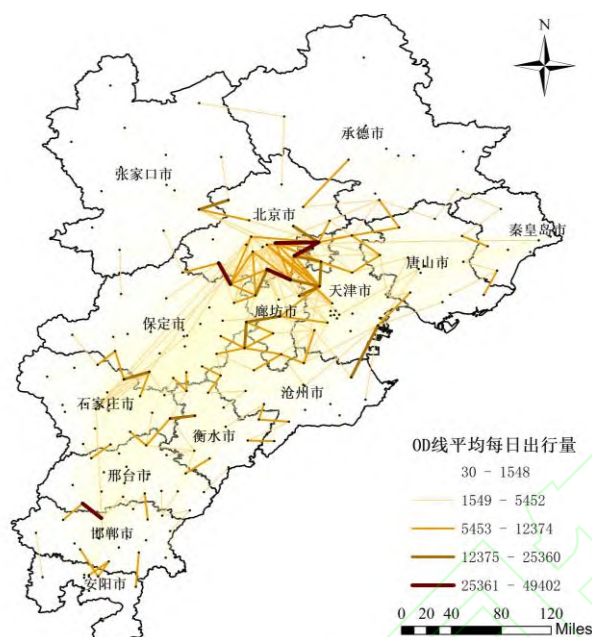


图8 京津冀城市群区县之间的城际出行分布

Fig.8 Urban travel allocation among districts and counties in Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration

4 结论

本文利用从手机信令数据中提取的用户城际出行OD数据，针对城市间的出行行为在时间和空间维度上复杂和不均匀的特点，对城际出行数据进行时空特征分析。得出如下研究结论：

1) 从多类型城际出行量变化图可知，京津冀城际出行有明显的周变化规律，工作日内周一至周四城际出行量较少，周五至周日出行量显著增加；城际出行有早晚高峰现象，非工作日的早高峰时间比工作日延迟了一个小时。

2) 结合网格模型，通过对比分析不同日期类型的出行高峰期的城际出行量空间分布情况，发现出行量主要分布在北京、天津、石家庄、邢台、廊坊和行政边界周边；北京市与廊坊市之间形成了两条明显的交通走廊，京津冀城市群城际出行线路分布特征反映了居民出行对城市群内部城市结构的空间依赖性，呈现出以省会城市和经济发达城市为区域中心其他城市为外围的出行结构，在城际出行结构上体现了城市群以中心城市带动城市群发展，进而以城市群带动区域协调发展的辐射带动作用。

今后本研究将继续结合多源数据，提升数据挖掘水平，实现城际出行分方式、分目的的识别工作，深入探讨城际出行异质性行为是今后的研究方向，以便进一步了解城市群城际出行行为特征。

参考文献：

- [1] FANG C L, YU D L. Urban agglomeration: an evolving concept of an emerging phenomenon[J]. Landscape and Urban Planning, 2017, 162: 126-136.
- [2] SZETO W Y, YANG L C, WONG R C P, et al. Spatio-temporal travel characteristics of the elderly in an ageing society[J]. Travel Behaviour and Society, 2017, 9: 10-20.
- [3] DENG Y, WANG J X, GAO C, et al. Assessing temporal - spatial characteristics of urban travel behaviors from multiday smart-card data[J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2021, 576: 126058.

- [4] 唐艳丽, 蒋超, 郑伯红, 等. 基于多源数据融合的城市出租车载客出行特征研究: 以岳阳市为例[J]. 交通运输系统工程与信息, 2018, 18(2):45-51.
- TANG Yanli, JIANG Chao, ZHENG Bohong, et al. Taxi on service trip characteristics based on multi-source data fusion: a case of Yueyang[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2018, 18(2):45-51.(in Chinese)
- [5] 苏跃江, 温惠英, 韦清波, 等. 多源数据融合驱动的居民出行特征分析方法[J]. 交通运输系统工程与信息, 2020, 20(5):56-63.
- SU Yuejiang, WEN Huiying, WEI Qingbo, et al. Resident travel characteristics analysis method based on multi-source data fusion[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2020, 20(5):56-63.(in Chinese)
- [6] 温惠英, 吴亚平, 朱殿臣, 等. 广佛城际交通居民出行特性研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2017, 36(8):82-88.
- WEN Huiying, WU Yaping, ZHU Dianchen, et al. Residents' trip characteristics of intercity traffic between Guangzhou and Foshan[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Sciences), 2017, 36(8):82-88.(in Chinese).
- [7] 陈颖雪, 吴兵, 李林波, 等. 长江三角洲地区城市群旅客出行特征调查研究[J]. 中国铁路, 2012(7): 29-33.
- CHEN Yingxue, WU Bing, LI Linbo, et al. Investigation and study on the characteristics of passenger travel in urban agglomerations in the Yangtze River Delta[J]. Chinese Railways, 2012(7): 29-33.(in Chinese)
- [8] 宋凯, 徐满满. 城市群城际旅客出行行为特征分析[J]. 现代城市轨道交通, 2012(4): 67-70.
- SONG Kai, XU Manman. Characteristics of intercity passenger travel behavior in urban agglomeration[J]. Modern Urban Transit, 2012(4): 67-70.(in Chinese)
- [9] GAO Y, YE C, ZHONG X, et al. Extracting spatial patterns of intercity tourist movements from online travel blogs[J]. Sustainability, 2019, 11(13): 3526.
- [10] BALZOTTI C, BRAGAGNINI A, BRIANI M, et al. Understanding human mobility flows from aggregated mobile phone data [J]. IFAC-Papers OnLine, 2018, 51(9): 25-30.
- [11] BACHIR D, KHODABANDELOU G, GAUTHIER V, et al. Inferring dynamic origin-destination flows by transport mode using mobile phone data[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2019, 101: 254-275.
- [12] GADZIŃSKI J. Perspectives of the use of smartphones in travel behaviour studies: findings from a literature review and a pilot study[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2018, 88: 74-86.
- [13] 吴子啸. 基于手机信令数据的长三角城际出行特征研究[C]//品质交通与协同共治——2019年中国城市交通规划年会.成都,2019:3653-3665.
- Wu Zixiao Research on the characteristics of inter-city travel in the Yangtze River Delta based on mobile phone signaling data [C]//. Quality transport and collaborative governance - Proceedings of the 2019 China Urban Transport Planning Annual Conference.Chengdu,2019:3653-3665.
- [14] 李自圆, 孙昊, 李林波. 基于手机信令数据的长三角全域城际出行网络分析[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2022, 62(7): 1203-1211.
- LI Ziyuan, SUN Hao, LI Linbo. Analysis of intercity travel in the Yangtze River Delta based on mobile signaling data[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2022, 62(7): 1203-1211.(in Chinese)